Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Heinrich Harms

Forschungsabteilung I für Pathophysiologie des Sehens
Leiterin: Professor Dr. Elfriede Aulhorn

Diskussion der Anschauungen zur Nachtmyopie und experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
Frieder Johannes Ehrke
aus Salzwedel

1969

Aus der Augenklinik der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Heinrich Harms

Forschungsabteilung I für Pathophysiologie des Sehens
Leiterin: Professor Dr. Elfriede Aulhorn

Diskussion der Anschauungen zur Nachtmyopie und experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
Frieder Johannes Ehrke
aus Salzwedel

1969

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Professor Dr. E. Aulhorn

2. Berichterstatter: Professor Dr. E. Betz

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhalt

Seite

Einleitung 1

Erster Teil 4

Kritische Diskussion der Anschauungen zur Nachtmyopie

I. Kurze Zusammenstellung der Ergebnisse der Nachtmyopiebestimmungen verschiedener Autoren 4
A. Häufigkeit und Höhe der Nachtmyopie
B. Beeinflussung der Lichtsinnesleistungen durch Korrektur der Nachtmyopie 7

II. Kritische Diskussion der Ursachen der Nachtmyopie 8
A. Mögliche Ursachen des unabhängig von der Akkommodation entstehenden Teils der Nachtmyopie 9
1. Sphärische Aberration 1o
2. Veränderte Abbildungsbedingungen bei Änderung des Fixationsortes auf der Retina 16
3. Retinomotorik 16
4. Chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen 17
5. Bildortsverlagerung innerhalb der meridionalen Kaustik 24
B. Mögliche Ursachen des durch Akkommodation ausgelösten Teils der Nachtmyopie 27
1. Anschauungen, nach denen die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten einen regelmäßigen physiologischen Vorgang darstellt 27
a. IVANOFF's These von der Beseitigung der sphärischen Aberration durch Akkommodation 28
b. SCHOBER's Hypothese zur Erklärung der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten 29
c. KÜHL's Hypothese von der Akkommodationsruhelage 31

Seite

2. Akkommodationsbegünstigende Faktoren, die bei verschiedenen Methoden der Bestimmung der Nachtmyopie in unterschiedlichem Maße zur Wirkung kommen 37
   a. Der Eindruck unbefriedigenden Sehvermögens 37
   b. Die Instrumenten- oder Apparatemyopie 38
   c. Eigenschaften der Versuchspersonen, welche die Höhe der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten beeinflussen können 41
3. Kurze Zusammenfassung der erarbeiteten Vorstellungen von der Rolle der Akkommodation beim Zustandekommen der Nachtmyopie 42

Zweiter Teil 44

Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten

I. Aufgabenstellung 44

II. Methodik 46
   A. Die optischen Hilfsmittel und deren Anwendung zur Ermittlung der Nachtmyopiehöhe
   B. Die getestete Sehfunktion und die Eigenschaften des Testbildes 52
   C. Die verwendeten Lichtquellen und Leuchtdichtestufen 55
   D. Die Auswahl der Versuchspersonen und die Bestimmung ihrer Hell- oder Bezugsrefraktion 56
   E. Methodik weiterer Untersuchungen 57

III. Darstellung und Auswertung der Versuchsergebnisse 57
   A. Nachtmyopiemessungen jugendlicher Versuchspersonen am Fernrohr
   B. Altersabhängigkeit der Nachtmyopiehöhe am Fernrohr 61
   C. Fernrohreinstellungen der einzelnen Versuchspersonen bei verschiedenen Leuchtdichten 62
   D. Nachtmyopiemessungen atropinisierter Versuchspersonen am Fernrohr 67

Seite

E. Nachtmyopiemessungen homatropinisierter Versuchspersonen am Fernrohr 69

F. Vergleich der Nachtmyopiehöhe bei Verwendung von Fernrohr und von Probegläsern 7o

G. Vergleich der Nachtmyopiehöhe zwischen den Gruppen der Myopen,Emmetropen und Hyperopen am Fernrohr 72

H. Konstanz der Nachtmyopiehöhe am Fernrohr und der Einfluß gezielter Akkommodationsförderung durch Änderung der Versuchsumstände 74

IV. Besprechung unserer Versuchsergebnisse 77

A. Kurze Zusammenfassung der Versuchsergebnisse,die schon bekanntes Wissen von der Nachtmyopie bestätigen

B. Besprechung der Ergebnisse,die neues Wissen über die Nachtmyopie und insbesondere über das Verhalten der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten vermitteln 78

C. Das Problem der Dämmerungs- oder Nachtbrille 87

Zusammenfassung 89

Literaturverzeichnis 91

Einleitung

Mit dem erst seit knapp 3o Jahren in die ophthalmologische Literatur eingeführten Begriff "Nachtmyopie" bezeichnet man das Phänomen,daß ein Teil der Menschen mit abnehmender Helligkeit myopischer zu werden scheint.Das zeigt sich darin,daß für einen optimalen Bildeindruck zunehmend höhere Minuskorrekturen[1] notwendig werden.

Besonders deutlich ist die Nachtmyopie bei Benutzung von Fernrohren zu beobachten.SCHOBER 1947 berichtet,daß es bei älteren Seeleuten noch üblich sei,den Fernrohren,deren Oculare so eingestellt waren,daß die Beobachter damit am Tage maximale Sehschärfe erreichten,nachts eine etwas größere Minuseinstellung zu geben.In der Literatur soll sich der erste Hinweis auf die Nachtmyopie bei Lord Rayleigh ausgangs des letzten Jahrhunderts finden.Die Nachtmyopie geriet in den folgenden Jahren bis auf gelegentliche Hinweise (so bei OGATA und WEYMOUTH 1918) in Vergessenheit.Erst 1941 griffen OTERO und DURAN das Problem auf. Seit dem Zweiten Weltkrieg,wo den Bedingungen des Nachtsehens verständlicherweise besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde,häufen sich dann die Arbeiten über die Nachtmyopie bis in die jüngste Vergangenheit.Besonders zu nennen sind die Beiträge der Autoren RONCHI 1943;KÜHL 1941,1944,1949;IVANOFF 1946,1947,1949, 1954;LE GRAND 1942,1951,1956-65,1962,1963;SCHOBER 1947,1953, 1957/58,1958,1961.

Die Bezeichnung "Nachtmyopie" prägten OTERO und DURAN 1941. Der Name ist mißverständlich.Einmal entsteht der Eindruck,als ob das Phänomen nur bei Nacht,d.h. bei Leuchtdichten der Größenordnung o,o1 asb und weniger,auftreten würde.Es hat sich aber herausgestellt,daß die Nachtmyopie,wenn auch in geringerem Grade, schon bei wesentlich höheren Leuchtdichten beobachtet werden kann.Einige Autoren schlugen deshalb vor,für den Dämmerungsbereich (5o - o,o2 asb) den Ausdruck "Dämmerungsmyopie" zu verwenden und die Bezeichnung "Nachtmyopie" nach dem Vorschlag KÜHL's 1949

[1] Unter Minuskorrekturen wollen wir hier alle die optischen Hilfen verstehen,welche die Abbildung im Auge,in Lichtrichtung gesehen,nach hinten verlagern.

für den Leuchtdichtebereich unter 10^{-2} asb zu reservieren. Das vermochte sich aber in der Literatur nicht durchzusetzen, deshalb soll in dieser Arbeit auch auf diese Differenzierung verzichtet werden.

Zum anderen scheint uns die Bezeichnung "Myopie" nicht uneingeschränkt zuzutreffen, denn sie wird bei der Nachtmyopie auf ein Phänomen angewandt, das zunächst lediglich die Annahme von Minuskorrekturen mit der echten Myopie gemein hat.

Von Myopie sprechen wir bei einem Mißverhältnis zwischen Achslänge und Brechkraft des Auges in dem Sinne, daß die Abbildung vor der Netzhaut liegt. Die Achslänge kann man durch den Abstand des Hornhautscheitels vom Rezeptor in der Retina definieren, sie ist also fast mit der Bulbuslänge identisch. Die Brechkraft resultiert aus der Gesamtheit aller brechenden Kräfte des Systems in Abhängigkeit von deren räumlicher Anordnung. Vom Refraktionsfehler "Myopie" sprechen wir normalerweise nur dann, wenn die Brechkraft im Verhältnis zur Achslänge bei Akkommodationslosigkeit zu stark ist.

Dieser Definition wird die Nachtmyopie nur mit Einschränkung gerecht. Erstens spielt, wie wir noch sehen werden, gerade die Akkommodation beim Zustandekommen der Nachtmyopie eine wesentliche Rolle. Eine zweite Erweiterung des hier gebrauchten Myopiebegriffes ergibt sich aus der Frage nach dem Bildort: Im Auge sind die Verhältnisse der Abbildung mit denen bei einer optisch idealen Konstuktion nur sehr bedingt vergleichbar. Der Schnittpunkt der Richtungsstrahlen eines idealen optischen Systems wird am Auge durch die komplizierte Figur der Kaustik ersetzt, die eine erhebliche Ausdehnung besitzt. Zum Beispiel beträgt der Abstand vom engsten Bündel der Kaustik bis zu ihrer Spitze ca. 1,5 dptr. In den verschiedenen Frontalebenen der Kaustik ergeben sich nun ganz charakteristische Abbildungsfiguren. Da für das Sehen bei geringen Leuchtdichten gegenüber dem Sehen im Hellen zum Teil andere Gesetzmäßigkeiten bestehen, wird es denkbar, daß mit abnehmender Leuchtdichte eine andere Frontalebene der Kaustik als im Hellen optimal wird. Das würde aber heißen, daß ohne Änderung der Achslänge oder der brechenden Kräfte des Systems eine andere effektive Brechkraft resultieren würde. Wir werden auf dieses Problem noch zurückkommen.

Es erschien uns vorteilhaft, diese Arbeit in zwei große Teile zu gliedern. Im ersten Teil wollen wir die Anschauungen über die Nachtmyopie und ihre Ursachen unter Beachtung der dazu vorliegenden Literatur kritisch besprechen und im zweiten Teil mit eigenen experimentellen Beiträgen zur weiteren Klärung der offenstehenden Probleme beitragen.

Diese Teilung mag zunächst künstlich erscheinen, die ursprüngliche Idee dieser Arbeit war es auch, die Beziehung zwischen der Höhe der Nachtmyopie und der Leuchtdichte rein experimentell zu ermitteln, da uns die dazu vorliegenden Angaben in der Literatur nicht befriedigten. Im Laufe des Literaturstudiums und der vorbereitenden Versuche stellte sich jedoch heraus, daß die Höhe der Nachtmyopie entscheidend von der angewandten Methode zu ihrer Ermittlung abhängig zu sein schien. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, vor Beginn der eigentlichen experimentellen Untersuchungsreihe die Faktoren, die Einfluß auf die Höhe der Nachtmyopie gewinnen könnten, d.h. die in Frage kommenden Ursachen der Nachtmyopie, systematisch zu besprechen.

Erster Teil

Kritische Diskussion der Anschauungen zur Nachtmyopie

I. Kurze Zusammenstellung der Ergebnisse der Nachtmyopiebestimmungen verschiedener Autoren.

A. Häufigkeit und Höhe der Nachtmyopie

Die Ergebnisse der Nachtmyopiebestimmungen verschiedener Autoren haben wir zur besseren Übersicht mit den wichtigsten Daten der Untersuchungsmethodik in Tab.1 zusammengefaßt.

Am bekanntesten ist die von SCHOBER 1947 bei 12 Versuchspersonen (Vpn.) in über 5oo Einzelbestimmungen ermittelte durchschnittliche Beziehung zwischen Nachtmyopiehöhe und Leuchtdichte geworden (Abb.1).

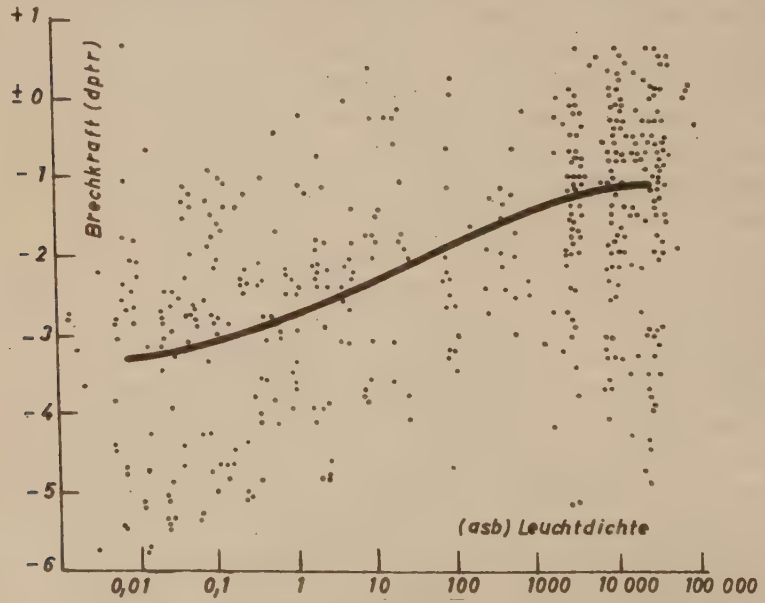

Abb.1 : Fernrohreinstellung emmetroper Personen in Abhängigkeit von der Feldleuchtdichte + Mittelwertskurve nach SCHOBER 1947

Autor	Zahl VP	Alter J.	Leuchtdichte	Häufigkeit der Nachtmyopie in %	durchschnittl. Höhe der Nachtmyopie (min/max) dptr. absolut	relativ	getestete Funktion	benutzte Optik	Einstellung der Optik	Testbild
Schober 1947	12	20-43	10^{-2} asb	fast 100%	- 3,3 (+0,7 bis -6,2)	- 2,1	subj. Eindruck	Fernrohr	Kontinuierlich	im Freien
Hamburger 1949	125		Nacht(?) 10^{-3} asb	64 %	- 1,8 (-1,0 bis -2,5)	- 1,0	subj. Eindruck	Fernrohr	Kontinuierlich	im Freien
Matthäus 1965	55	20-30	Nacht(?) 10^{-3} ca. 10 asb	53 %	-0,5 bis -2,25	idem	subj. Eindruck	Brillengläser	Stufe	Verkehrszeichen
	45	41-60	"	42 %	-0,5 bis -1,75		"	"	"	"
Bouman/ Brink 1952	21		0,8 mlux	87 %		- 0,93	subj. Eindruck	Fernrohr	Kontinuierlich	Streifenmuster
Otero/ Duran 1941			10^{-5} - 10^{-6} sb		- 2,0		LUE	Fernrohr	Kontinuierlich	Liniengitter
Katz 1949	1	27	10^{-3} - 10^{-5} asb		- 1,0 (bis - 6,0)		LUE	Fernrohr	Stufe	bewegte Kreisscheiben
Bouman/ Brink 1952	14		0,1 - 1,0 mlux	93%	- 2,6 (-0,3 bis - 7,0)		Auflösungsverm.	Fernrohr	Kontinuierlich	Richtung eines Streifenmusters
Kühl 1944	4	17 - 45	- 5,5 10 sb	100%	- 2,0 (-1,37 bis -3,5)		Auflösungsverm.	Fernrohr	Kontinuierlich	Landolt-Ring und Gitter
Carreras/ Matas 1951	21 5	Jugendl. 60 - 70	veränderlich		-1,5 bis -2,0 -0,6 bis -1,0	idem	Auflösungsverm.	Brillengläser "	Stufe "	Landolt-Ring "

Tab.1 , Teil I ; Legende s.S.6 .

Autor	Zahl VP	Alter J.	Leuchtdichte	Häufigkeit der Nachtmyopie in %	durchschnittl. Höhe der Nachtmyopie (min/max) dptr. absolut	relativ	getestete Funktion	benutzte Optik	Einstellung der Optik	Testbild
Schober 1947	12	20 - 43	0,03 asb	fast 100%	-3,1	- 1,9	subj. Eindruck	Fernrohr	Kontinuierlich	im Freien
Katz 1949	9	27 - 40	1asb		- 2,4	- 1,6	subj. Eindruck	Fernrohr	Kontinuierlich	Landolt-Ring
Mesoptometer 37 Augenärzte 1969	2341	56% <40 44%>40	0,0 32 asb	26 %	~ - 0,2 (-0,5 bis -2,0)		subj. Eindruck	Brillengläser	Stufe (0,5 dptr)	Streifenmuster
Hamburger 1949	17		Dämmerung(?)	41%	- 1,75		Auflösungsverm.	Brillengläser	nur eine Stufe (- 1,75 D)	Landolt - Ringe
Katz 1949	9	27 - 40	0,42 asb		- 2,0	- 1,0	Auflösungsverm.	Fernrohr	Kontinuierlich	Landolt - Ringe

Tab. 1 : Zusammenstellung der Ergebnisse der Nachtmyopiemessungen verschiedener Autoren mit den wichtigsten Daten der Untersuchungsmethodik.

Teil II

Teil I : im Leuchtdichtebereich skotopischen Sehens

Teil II: im Leuchtdichtebereich mesopischen Sehens.

Aus der Abb.1 ergibt sich,daß die Nachtmyopiehöhe bei Bestimmung mit einem Fernrohr im Freien bei abnehmender Leuchtdichte im Bereich von $1o^{4}$ bis $1o^{-2}$ asb stetig zunimmt.Dabei werden von den Testpersonen bereits im Hellen in erheblichem Ausmaß Minuskorrekturen angenommen.Die Nachtmyopiehöhe nimmt bei logarithmischem Leuchtdichteabfall fast gleichmäßig zu, wobei SCHOBER die relativ größte Zunahme der Nachtmyopiehöhe bei Abnahme der Leuchtdichte von $1o^{2}$ auf $1o^{1}$ asb findet.Die Einzelergebnisse streuen erheblich.

Zusätzlich zu den in Tab.1 aufgeführten Ergebnissen soll informatorisch über einige Nachtmyopiebestimmungen berichtet werden,von denen uns Einzelheiten in Ermangelung der Originalliteratur nicht oder nur teilweise bekannt geworden sind.

RONCHI,zit.nach SCHOBER 1947,bestimmte die Höhe der Nachtmyopie mit einem Fernrohr im Freien und fand bei Vollmond Oculareinstellungen von -2,o dptr "stark überlegen".

Murata 1959 ermittelte die Refraktion von 5o im Hellen emmetropen Augen "mit subjektiven und objektiven Bestimmungsmethoden" bei verschiedenen Leuchtdichten.Er konnte bei den meisten der getesteten Personen Nachtmyopie nachweisen und zwar durchschnittlich - o,918 dptr,maximal - 1,75 dptr.

SACHSENWEGER 1959 fand bei 1o emmetropen Vpn. bei Prüfung mit Brillengläsern Nachtmyopie in Höhe von - 1,o bis - 2,o dptr.

Zusammenfassend können wir feststellen:

Bei teils sehr unterschiedlicher,teils aber auch vergleichbarer Untersuchungsmethodik wird von allen Autoren bei einem großen Teil der Testpersonen Nachtmyopie nachgewiesen.Jedoch bestehen Unterschiede zwischen den Angaben der Autoren über den prozentualen Anteil der Nachtmyopen an der Gesamtzahl der untersuchten Personen.Weiterhin differieren die Werte der bei bestimmten Leuchtdichten durchschnittlich gefundenen Nachtmyopiehöhe erheblich.Übereinstimmend wird von den verschiedenen Autoren auf die große individuelle Streuung der Nachtmyopiehöhe hingewiesen.

B. Beeinflussung der Lichtsinnesleistungen durch Korrektur der Nachtmyopie.

KATZ 1949,BOUMAN und VAN BRINK 1952,CARRERAS und MATAS 1951 fanden nach Korrektur der Nachtmyopie ein verbessertes Auf-

lösungsvermögen.Entsprechende Ergebnisse sollen sich bei KÜHL und bei VAN DER VELDEN (zit.nach SACHSENWEGER 1959) finden.SCHOBER 1947 berichtet,daß er und WEMPE jeweils 25 bis 3o %,RONCHI sogar 3oo %ige "Verbesserung des Sehens" nach Korrektur der Nachtmyopie feststellten.

HAMBURGER 1949 fand bei 17 Vpn.die Dämmerungssehschärfe nach Vorsatz einer Brille von - 1,75 dptr bei etwa ebensovielen Personen verbessert wie verschlechtert.Verbessertes Auflösungsvermögen von durchschnittlich etwa 2o % zeigte sich in erster Linie bei den Personen,die ohne Korrektur unterdurchschnittlich schlechte Dämmerungssehschärfe besaßen.

KATZ 1949 und VAN DER VELDEN (zit.n.SACHSENWEGER 1959) stellten nach Korrektur der Nachtmyopie neben verbessertem Auflösungsvermögen auch bessere Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE) fest.KATZ fand bei der Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle für bewegte Kreisscheiben verschiedener Kontraste zwei Optima der LUE bei - 1,o dptr und bei - 3,o bis - 4,o dptr Minuskorrektur (Umfeldleuchtdichte $1o^{-3}$ bis $1o^{-5}$asb). Auch OTERO und DURAN 1941 sollen nach Korrektur der Nachtmyopie verbesserten Lichtsinn gemessen haben.

Dagegen fordert SCHOBER 1947 aus theoretischen Erwägungen eine Verbesserung der LUE durch die unkorrigierte Nachtmyopie.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über die Verbesserung der verschiedenen Lichtsinnesleistungen nach Korrektur der Nachtmyopie sind also nicht einheitlich.Das mag teilweise darin begründet sein,daß meist nur wenige Vpn. getestet wurden.Die Streuung und damit die Unsicherheit der Ergebnisse aus Messungen der Sehleistung ist,wie wir selbst erfahren mußten,bei geringen Leuchtdichten außerordentlich groß.Im ganzen scheint uns das vorliegende Untersuchungsmaterial zur Klärung des Problems der Verbesserung der Lichtsinnesleistung nach Korrektur der Nachtmyopie noch nicht auszureichen.

II. Kritische Diskussion der Ursachen der Nachtmyopie

Nachtmyopie bewirken alle die Vorgänge,durch die der Bildort mit abnehmender Leuchtdichte vor die Netzhaut verlagert wird.Die als Ursachen der Nachtmyopie in Frage kommenden

Faktoren sind sehr verschieden.

Wir wollen den Teil der Nachtmyopie, der durch Akkommodation bedingt ist, von dem, der unabhängig von Akkommodation entsteht, unterscheiden. Das bietet sich deshalb an, weil man beide Teile experimentell getrennt bestimmen kann.

So kann die Akkommodation bei den Aphaken keinen Einfluß haben. CARRERAS und MATAS 1951 bestimmten die Nachtmyopie bei fünf aphaken Vpn. und fanden zwischen - o,3 und - o,75 dptr. KRAUSE und KRAUSE-LIEBSCHER 1961 erhielten bei den Aphaken bei Fernrohreinstellungen auf optimalen Bildeindruck bei geringen Leuchtdichten durchschnittlich - o,5 bis o,75 dptr. Wir selbst haben bei ähnlicher Methodik bei einer aphaken Vpn. bei o,o1 asb Umfeldleuchtdichte - o,4 dptr Minuskorrekturannahme gefunden.

Eine Ausschaltung der Akkommodation kann man auch durch Atropininstillation erzielen, allerdings mit dem Nachteil gleichzeitig bestehender ausgeprägter Mydriasis. OTERO und DURAN (zit.n. SCHOBER 1957/58) sollen nach Atropingabe durchschnittlich - o,5 bis - o,75 dptr Nachtmyopie gemessen haben. PALACIOS 1946 fand ebenfalls - o,5 dptr.

Die Presbyopen sind noch zu einer gewissen Akkommodation fähig, die bei ihnen gefundenen Ergebnisse sind zu dieser Auswertung deshalb nicht heranzuziehen.

Wir können diese Ergebnisse wie folgt zusammenfassen: Der unabhängig von Akkommodation entstehende Teil der Nachtmyopie beträgt durchschnittlich zwischen - o,25 und - o,75dptr, gewöhnlich - o,5 dptr.

A. Mögliche Ursachen des unabhängig von der Akkommodation entstehenden Teils der Nachtmyopie.

Folgende Faktoren kommen dafür in Frage:

1. Sphärische Aberration
2. Veränderte Abbildungsbedingungen bei Änderung des Fixationsortes auf der Retina
3. Retinomotorik
4. Chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen
5. Bildortsverlagerung innerhalb der meridionalen Kaustik.

1. Sphärische Aberration[1] als mögliche Ursache eines Teils der Nachtmyopie.

Bei der sphärischen Aberration handelt es sich um einen Abbildungsfehler, der primär jedes optische System betrifft. Er kommt dadurch zustande, daß der lineare Zusammenhang zwischen ding- bzw. bildseitiger Schnittweite, Flächenradius und Brechungsindex nur innerhalb des sogenannten paraxialen Gebietes gilt. Das heißt, dass der tatsächliche Bildort mit dem idealen nur für sehr kleine Strahleneinfallshöhen[2] der achsenpallelen Lichtstrahlen identisch ist. Alle Strahlen mit endlichen Einfallshöhen werden entweder vor (positive sphärische Aberration) oder hinter (negative sphärische Aberration) dem idealen Bildpunkt abgebildet.

Auch die Abbildung im menschlichen Auge wird durch sphärische Aberration beeinflußt (GULLSTRAND 19o9, IVANOFF 1946, AMES und PROKTOR 1921, PI 1925, VON BAHR 1947, KOOMEN und SCOLNIK und TOUSEY 1951).

Der mögliche Zusammenhang zwischen sphärischer Aberration und Nachtmyopie ist nun durch folgende Umstände gegeben: Im Hellen werden die durch sphärische Aberration in ihrer Abbildung beeinflußten Randstrahlen durch die bestehende Miosis ausgeblendet. Außerdem wird die Bedeutung der Randstrahlen durch den Stiles-Crawford-Effekt I. Art eingeschränkt.

Mit abnehmender Leuchtdichte erweitert sich die Pupille, und nach SIEBECK 196o soll auch der Stiles-Crawford-Effekt I. Art seine Gültigkeit verlieren. Dadurch können sich die Randstrahlen bei geringen Leuchtdichten auf die Bildortslage auswirken.

Entsprechend der Sammellinsenwirkung des menschlichen

[1] Sphärische Aberration im strengen Sinn gibt es am menschlichen Auge wegen fehlender Rotationssymmetrie eigentlich nur bedingt, doch ist im Rahmen der hier geforderten Genauigkeit die Verwendung dieses Begriffes gestattet.

[2] Die Einfallshöhe h bezeichnet den Abstand einfallender achsenparalleler Strahlen vom Axialstrahl (für diesen ist h = o).

Auges nur eine positive sphärische Aberration der Randstrahlen erwartet werden.Das aber macht eine Bildortsverlagerung vor die Netzhaut,also Nachtmyopie möglich.

Die Verhältnisse sind nun insofern kompliziert,als die sphärische Aberration am menschlichen Auge ähnlich wie bei diesbezüglich korrigierten optischen Systemen zumindest teilweise durch folgende Faktoren ausgeglichen wird:

-- Der Hornhautkrümmungsradius von 7 mm gilt nur für das Zentrum der Hornhaut,der sogenannten optischen Kappe.Dieses Zentrum hat eine Flächenausdehnung,die einer Pupillenweite von etwa 4 mm entspricht.Randwärts nimmt der Krümmungsradius der Hornhaut kontinuierlich zu und erreicht in der äußersten Peripherie schließlich 11 mm.Das hat eine relative Brechkraftsminderung der Randzone zur Folge.

-- Die Hornhautdicke nimmt randwärts auf etwa das Doppelte zu. Das könnte eine Brechkraftsminderung der Hornhautrandzone bis zu o,5 dptr bewirken.

-- Die Brechkraft des Linsenrandes ist durch die Schalenstruktur der Linse geringer als die des Linsenzentrums. Die Differenz ist vom Akkommodationszustand abhängig. (IVANOFF 1949).

-- Die Linse kann nur innerhalb eines kleinen zentralen Bereiches als zentriert angesehen werden (Norderson^s Rotationsparaboloid bzw. -ellipsoid mit gemeinsamer Achse). Dadurch sind die Abbildungsbedingungen des peripher einfallenden Lichtes ungünstiger als die des zentral einfallenden,was ihren Einfluß auf die Lage des geltenden Bildortes mindern dürfte.

Lange Zeit galt es als gesichert,daß die nach Einbeziehung aller dieser Faktoren resultierende Gesamtaberration des menschlichen Auges bei Mydriasis positiv sei.Nach den neuesten Arbeiten von JENKINS 1963,der bei umfangreichen Untersuchungen eine geringfügig negative Gesamtaberration fand,sind daran jedoch Zweifel entstanden.Es besteht aber eine einheitliche Auffassung darüber,daß durch die genannten Faktoren die maximale positive sphärische Aberration nicht in der äußersten Peripherie des optischen Systems des Auges bewirkt wird,sondern bei einer Strahleneinfallshöhe von 1,5 mm,entsprechend einer

Pupillenweite von 3 mm (VON BAHR 1947,IVANOFF 1947 ff.,KATZ 195o,BOUMAN und BRINK 1952,JENKINS 1963).

Unter Berücksichtigung der randwärtigen Abflachung der Hornhaut berechnete GULLSTRAND 19o9 die Differenz der Refraktion zwischen der Strahleneinfallshöhe mit maximaler positiver sphärischer Aberration und der im Paraxialgebiet mit 1,5 dptr, WHITEWELL 1924 fand ohne diese Berücksichtigung 2,8 dptr. JENKINS 1963 errechnete für die in der äußersten Peripherie einfallenden Strahlen eine negative Aberration von - 1,52 dptr.

Legt man bei der Berechnung der sphärischen Aberration statt der einzelnen Strahleneinfallshöhen die entsprechenden Pupillenweiten zugrunde,erhält man natürlich andere Werte,weil die Abbildungen aus sämtlichen Strahleneinfallshöhen,welche die Pupillenweite einschließt,integriert werden.Der experimentell bei verschiedenen Pupillenweiten ermittelte Einfluß der sphärischen Aberration auf die Gesamtbrechkraft des Auges ist aus dem gleichen Grunde auch relativ klein.

BOUMAN und BRINK 1952 fanden bei Untersuchung von 25 Augen unter Verwendung künstlicher Pupillenblenden von 1,5 bis 7 mm Durchmesser eine durchschnittliche Differenz der Gesamtrefraktion von etwa o,5 dptr.VON BAHR 1947 ermittelte eine Refraktionsminderung um o,27 dptr beim Übergang von 3 auf 2 mm Pupillenweite und um o,23 dptr beim Übergang auf 1 mm Pupillenweite. KATZ 195o maß maximale positive sphärische Gesamtaberration bei 4 mm Pupillenweite mit o,28 dptr.IVANOFF 1947 ff.konnte bei Ausblendung eines Pupillenzentrums von 3 mm Durchmesser keine sphärische Aberration mehr nachweisen.

Die Verwendung künstlicher Pupillenblenden ist bei solchen Versuchen insofern problematisch,als die Blendengröße in ihrer Wirkung nicht genau der entsprechenden Pupillenweite gleichgesetzt werden kann.Dieses muß bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Immerhin lassen die vorliegenden Ergebnisse folgende Schlüsse zu:Maximale Verschiebung des Bildortes vor die Netzhaut durch positive sphärische Aberration ist am menschlichen Auge bei einer Pupillenweite von 3 bis 4mm zu erwarten.Das Ausmaß der Bildortsverlagerung entspricht beim Übergang von 1mm auf 3 bis 4 mm Pupillenweite rund o,5 dptr Brechkraftsdifferenz. Bei Erweiterung der Pupille über 4 mm hinaus kommt es zunächst

ht zu einer weiteren Verschiebung des Bildortes vor die zhaut, bei sehr großen Pupillenweiten verlagert sich der dort wieder in Lichtrichtung zurück. Nach den Angaben von KINS 1963 resultiert dann schließlich bei höchsten Pupillenten sogar eine negative Gesamtaberration.

Die Höhe der durch sphärische Aberration bedingten Nachtpie ist also entscheidend von den tatsächlich bei den verschiedenen Leuchtdichten jeweils bestehenden Pupillenweiten ängig.

In der Abb.2 zeigen wir eine bisher noch nicht veröffentchte Darstellung der Abhängigkeit der durchschnittlichen pillenweite von der Leuchtdichte nach STAGGE, die Messungen FLAMANT, REEVES und ihre eigenen Ergebnisse berücksichtigt.

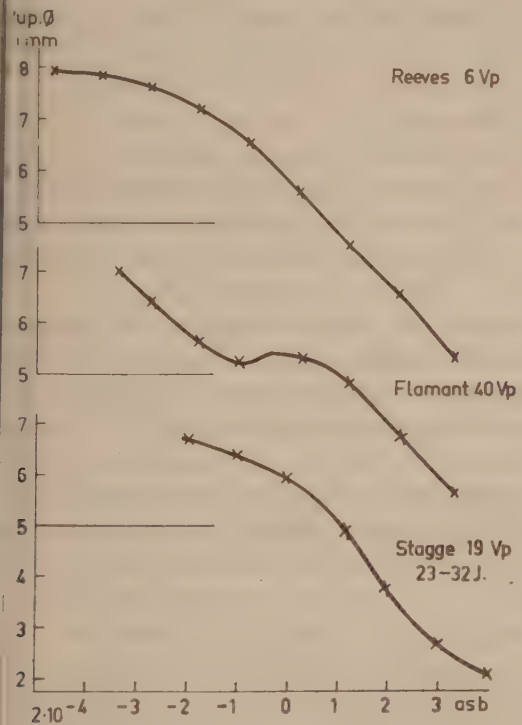

Abb.2
Abhängigkeit der durchschnittlichen Pupillenweite von der Umfeldleuchtdichte nach STAGGE (bish.unveröff.).

Nach Abb.2 beträgt die durchschnittliche Pupillenweite gendlicher Vpn. im Hellen bei 10^{3} bis 10^{4} asb Umfeldleuchtdichte

2 bis 3 mm und erreicht schon bei etwa $1o^2$ asb mit 3 bis 4mm den Wert,bei dem eine maximale Bildortsverlagerung vor die Netzhaut,d.h.größte Nachtmyopie durch sphärische Aberration bewirkt wird.

Der Zunahme der Pupillenweite von 2 bis 3 mm auf 3 bis 4 mm entspricht nach den genannten Meßergebnissen eine Brechkraftszunahme von o,1 bis o,2 dptr.

Bei weiterer Abnahme der Leuchtdichte auf Werte unter $1o^2$ asb ist entsprechend der sich ergebenden Pupillenweiten keine weitere Zunahme der Brechkraft ,d.h.der Nachtmyopie durch sphärische Aberration zu erwarten.Bei sehr geringen Leuchtdichten schließlich,also bei sehr großen Pupillenweiten,wird die Brechkraft des Auges durch negative sphärische Aberration wahrscheinlich sogar reduziert.

Die Annahme von OTERO und DURAN 1941,wonach der durch sphärische Aberration bedingte Teil der Nachtmyopie etwa - o,5 dptr betragen sollte,trifft also normalerweise nicht zu.

Bei der experimentellen Ermittlung der Nachtmyopiehöhe liegen nun insofern besondere Bedingungen vor,als hierbei die Minuskorrekturannahme der Vpn. um eine je nach Autor auf unterschiedliche Art ermittelte Bezugsrefraktion,d.h.der Hellrefraktion des Auges bei Akkommodationslosigkeit,korrigiert wird.

Deswegen werden im Experiment zwei verschiedene Pupillenweiten für die Höhe der gemessenen Nachtmyopie wichtig,nämlich erstens die Pupillenweite,unter der die Hell- oder Bezugsrefraktion bestimmt wird,und zweitens diejenige,bei der die Nachtmyopie selbst gemessen wird.

Bei den meisten der üblichen Methoden zur Refraktionsermittlung ist die Umfeldleuchtdichte aber nicht so hoch wie im Freien.Außerdem wird die Pupillenweite durch die Größe der beleuchteten Testfelder beeinflußt.

Aus der Abb.3 sind die durchschnittlichen Pupillenweiten bei verschiedenen Testfeldgrößen und Umfeldleuchtdichten zu ersehen.Danach würde z.B. die durchschnittliche Pupillenweite bei Verwendung eines Idemvisus nach SCHOBER (Testfeld 5^o,Umfeldleuchtdichte 2ooo asb) zur Refraktionsbestimmung bei jugendlichen Vpn. um 6 mm betragen.In der so gefundenen Bezugsrefraktion ist dadurch die maximale,durch sphärische Ab-

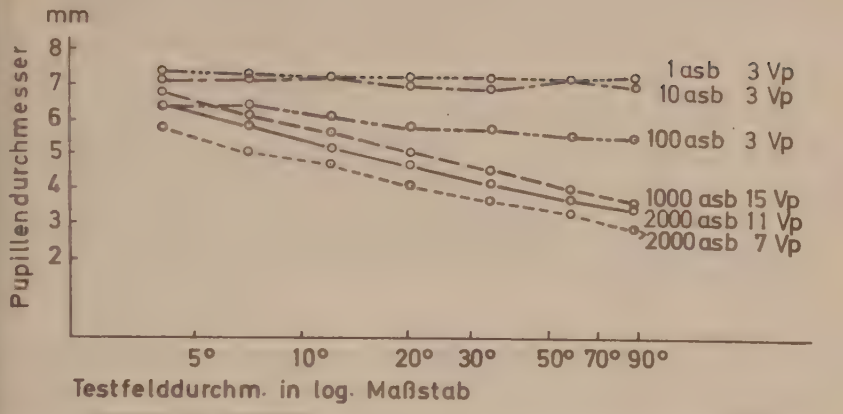

Abb.3 : Einfluß der Testfeldgröße auf den Pupillendurchmesser bei verschiedenen Leuchtdichten nach SCHÖCH 1968.

rration mögliche Myopisierung schon enthalten.Auf eine um iese Bezugsrefraktion korrigierte Nachtmyopiehöhe kann die phärische Aberration deshalb keinen Einfluß mehr haben.[1]

Bei den Presbyopen sind die Verhältnisse insofern etwas nders,als deren durchschnittliche Pupillenweiten etwas kleiner ls die der Jugendlichen sind,und dadurch die kritische Pupilenweite von 4 mm erst bei relativ geringen Leuchtdichten ereicht wird.Dadurch ist bei den Presbyopen ein etwas größerer, urch sphärische Aberration bedingter Teil der Nachtmyopie zu rwarten.als bei den Jugendlichen.Bei der experimentell ermitelten Nachtmyopie geht entsprechend nur ein geringerer Teil er durch sphärische Aberration bedingten Myopisierung schon n die Bezugsrefraktion ein.

Aus diesen Überlegungen folgt auch,daß eine durch sphärische Aberration bedingte Myopisierung des Auges im Hellen bei Atropinmydriasis,wie sie SCHOBER 1957/58 vermutet,je nach Pupillenweite bei der Bestimmung der Bezugsrefraktion am atropinfreien Auge,nicht oder nur in geringem Maße erfaßt wird. Das stimmt mit den Beobachtungen aus der Praxis überein,wonach bei der Brillenbestimmung an atropinisierten Augen gewöhnlich keine höheren Minusrefraktionen ermittelt werden als an atropinfreien Augen.

Da maximale "Myopisierung" durch sphärische Aberration bei Pupillenweiten um 4 mm erfolgt,muß auch die von SIEBECK 1960 bei geringen Leuchtdichten vermutete Ungültigkeit des Stiles-Crawford-Effektes I.Art ohne größeren Einfluß auf die Höhe der Nachtmyopie bleiben,denn dieser Effekt hat erst auf die Bedeutung der peripherer einfallenden Strahlen Einfluß. So beträgt der Stiles-Crawford-Faktor für 3 mm Pupillenweite o,96 und für 4 mm o,9.Bei sehr großen Pupillen könnte sich aus der SIEBECK'schen Vermutung sogar eine Verringerung der Nachtmyopiehöhe ergeben.

2.Veränderte Abbildungsbedingungen bei Änderung des Fixationsortes auf der Retina als mögliche Ursache der Nachtmyopie.

Mit dem Übergang zum extrafovealen Sehen kann ein geringes Maß von Achsenverlängerung verbunden sein,wenn durch einen relativ großen Krümmungsradius der Netzhaut oder durch einmal vorhandene Unregelmäßigkeiten des Netzhautniveaus die Entfernung zwischen dem Hornhautscheitel und dem Rezeptor wächst (SCHOBER 1947,BIESSELS 1954).SCHOBER möchte die gelegentlich auftretenden Unterschiede der Nachtmyopiehöhe zwischen beiden Augen mit Niveauunregelmäßigkeiten der Netzhaut erklären.

Ferner wird diskutiert,ob mit dem Übergang zum extrafovealen Sehen der Astigmatismus schiefer Bündel besonders beim blauen Lichtanteil einen myopischen Effekt haben könnte (JENKINS 1963).Bei einem Fixationsort in Foveanähe ist dieser Einfluß nach GULLSTRAND 1909 jedoch zu vernachlässigen.

3. Die Retinomotorik als mögliche Ursache der Nachtmyopie.

MARQUEZ 1952 möchte die gesamte Nachtmyopie durch Retinomotorik erklären.Er bezieht sich dabei lediglich auf die Zapfenbewegung.Die gegensinnige Stäbchenbewegung vernachlässigt er.Im übrigen ist bei den Primaten eine nennenswerte Retinomotorik nicht nachweisbar (DETWILER,zit.n.ROHEN,1962).

Die chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen als mögliche Ursache der Nachtmyopie.

Setzt man voraus, daß das menschliche Auge bestrebt ist, weils den Ort der Kaustik auf der Netzhaut abzubilden, der ximale Hellempfindung bewirkt, dann könnte dadurch Nacht- opie entstehen, daß sich diese Stelle der Kaustik mit abnehnder Leuchtdichte vor die Netzhaut verlagert, denn zur optihen Korrektur einer solchen Verlagerung müßten Minuskorrekren angenommen werden.

Die Stärke der Hellempfindung des Lichtsinnes ergibt sich s der Hellempfindlichkeit der Netzhautrezeptoren und der auf r Netzhaut auftreffenden Lichtenergie. Die Hellempfindlichkeit r Netzhautrezeptoren ist direkt von der Wellenlänge des chtes abhängig. Die spektrale Verteilung der Hellempfindlichit der Zapfen ist eine andere als die der Stäbchen. Da wir Hellen vorwiegend mit den Zapfen sehen, im Dunkeln aber mit n Stäbchen, ist die spektrale Verteilung der Hellempfindlichit der Netzhaut leuchtdichteabhängig - Purkinjephänomen.

In Abb.4 haben wir der Internationalen Hellempfindlichitskurve (Zapfenkurve) von 1924, deren Maximum bei einer llenlänge von 554 nm liegt, die heute allgemein anerkannte äbchenkurve von WEAVER 1937, die ihr Maximum bei 513 nm erichtet, gegenübergestellt. Für den Dämmerungsbereich sollen ergangswerte gelten.

Das Purkinjephänomen gewinnt seinen Einfluß auf die Höhe r Nachtmyopie im Zusammenwirken mit dem Abbildungsfehler der romatischen Aberration (der Schnittweite). Chromatische erration entsteht durch die Abhängigkeit der Brechkraft nes optischen Mediums von der Lichtwellenlänge, wodurch das cht bei der Abbildung in seine spektralen Anteile zerlegt rd. Durch die chromatische Aberration kann jeweils nur ein estimmter Wellenlängenbereich auf der Netzhaut scharf abgeldet werden.

Da das menschliche Auge chromatisch nicht korrigiert ist u.a. RÖSSLER 1930, IVANOFF 1947), werden die einzelnen spektraen Lichtanteile auch an verschiedenen Orten der meridionalen austik abgebildet. Die Ergebnisse experimenteller Untersuchunen verschiedener Autoren über die chromatische Aberration

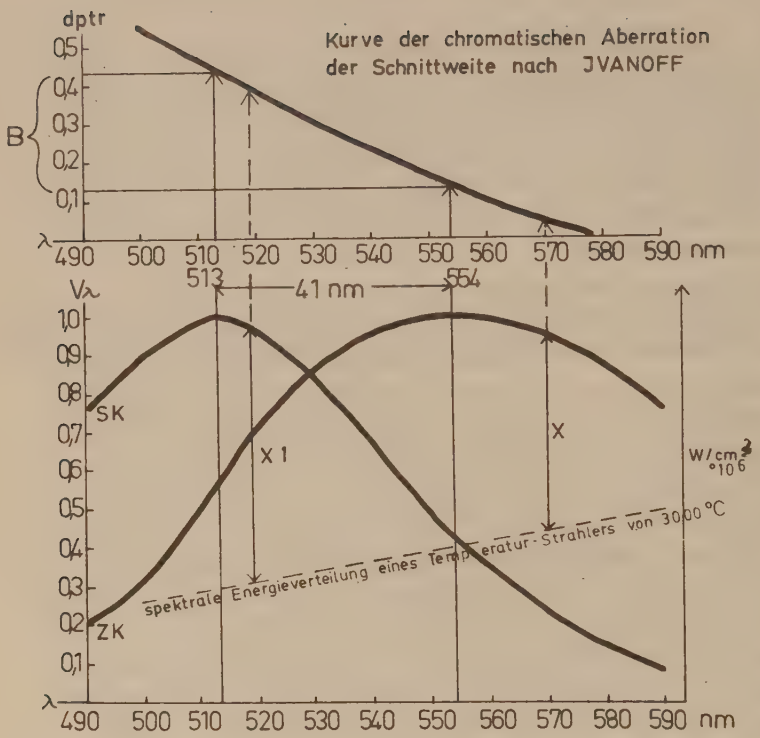

Abb.4 : Berechnung des durch sphärische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen entstehenden Teils der Nachtmyopie. Sk - Stäbchenkurve nach WEAVER 1937, Zk - Internationale Hellempfindlichkeits- oder Zapfenkurve von 1924, s. Text.
Absz.: Lichtwellenlänge in nm, Ord.: oben - Brechkraft in dptr., unten - links: spektraler Hellempfindlichkeitsgrad, rechts: spektrale Verteilung der Strahldichte (zur Kurve der spektralen Energieverteilung eines Temperaturstrahlers von 3000°C gehörend).

m menschlichen Auge stimmen gut überein (AMES und PROCTOR 921,RÖSSLER 193o,KATZ 1947,WALD und GRIFFIN 1947,IVANOFF 1947f, BLACK 1963).In der Abb.4 ist die Kurve der chromatischen berration von IVANOFF 1947 dargestellt,die etwa einem Mittelwert er Messungen der anderen Autoren entspricht.Danach wird das urzwellige Licht im menschlichen Auge prinzipiell stärker gerochen als das langwellige.

Da sich das spektrale Hellempfindlichkeitsmaximum der etzhaut gemäß dem Purkinje-Phänomen mit abnehmender Leuchtichte zur kurzwelligen Seite des Spektrums verschiebt,rückt er Bildort des Lichtes maximaler Hellempfindlichkeit mit abehmender Leuchtdichte vor die Netzhaut,es entsteht Nachtmypie.

Aus der Abb.4 läßt sich das Ausmaß der Bildortsverlageung vor die Netzhaut bei abnehmender Leuchtdichte direkt abesen:Die Wellenlängendifferenz der spektralen Hellempfindlicheitsmaxima im Hellen und Dunkeln beträgt 554 - 513 nm = 41 nm. uf der IVANOFF'schen Kurve der chromatischen Aberration der chnittweite entsprechen diese 41 nm einem Brechkraftsunterchied im Auge von ca. o,3 dptr(B).

In Wirklichkeit wird sich ein so entstehender Brechkraftsnterschied von o,3 dptr zwischen Hellem und Dunkeln aber nur ann ergeben,wenn auch die Differenz der Wellenlängen der jeeiligen spektralen Lage der Hellempfindungsmaxima einem olchen Brechkraftsunterschied auf der Kurve der chromatischen berration entspricht.Die spektrale Lage der Hellempfindungsaxima ist aber durch das maximale Produkt aus spektraler ellempfindlichkeit und spektraler Strahldichte gegeben.Die pektrale Energieverteilung des Lichtes im Hellen und Dunkeln at deswegen direkten Einfluß auf die Höhe der Nachtmyopie.

Zur Erläuterung dieser Beziehungen haben wir in Abb.4 ie spektrale Energieverteilung des Lichtes eines Temperaturtrahlers von 3ooo°C im sichtbaren spektralen Bereich dargetellt.Die Pfeile x und x_1 bezeichnen jeweils die Lage des aximalen Produktes aus der spektralen Strahldichte und der pektralen Hellempfindlichkeit im Hellen und Dunkeln.Die Welenlängendifferenz der jeweiligen spektralen Hellempfindungsaxima zwischen Hellem und Dunkeln beträgt in diesem Fall 7o - 519 nm = 51 nm.Projeziert auf die Kurve der chromati-

schen Aberration von IVANOFF entspricht dies einer effektiven Brechkraftsdifferenz von etwa o,35 dptr.

Die relativ große Brechkraftsdifferenz wird dadurch bewirkt,daß die Zapfenkurve der spektralen Hellempfindlichkeit etwas flacher als die der Stäbchen verläuft,was in Verbindung mit der zur langwelligen Spektrenseite kontinuierlich ansteigenden Strahldichte des Temperaturstrahlers diese relativ große Brechkraftsdifferenz zwischen Hell und Dunkel bewirkt.

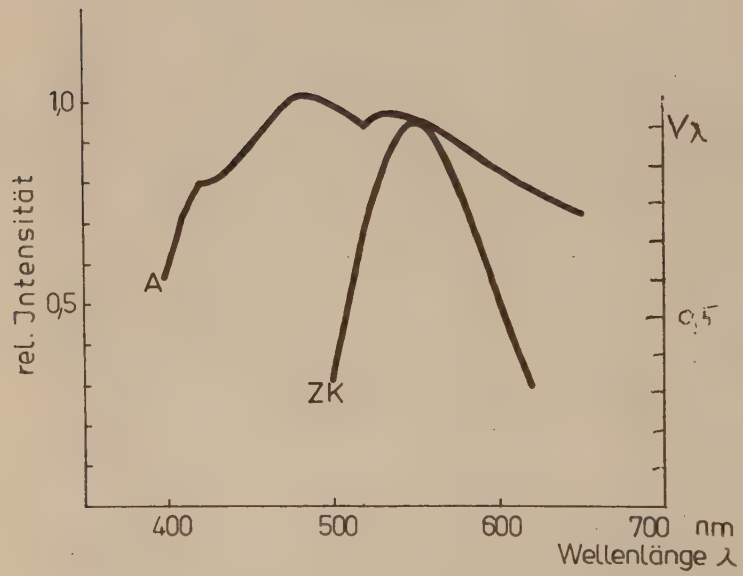

Abb.5 : Kurve A – Normalkurve der spektralen Verteilung der Intensität der Globalstrahlung nach HERMANN 1947. Auf die Kurve A projeziert die Kurve Zk – Internationale Hellempfindlichkeits- oder Zapfenkurve von 1924.(dazu Ord.rechts: spektraler Hellempfindlichkeitsgrad V_λ)

irde die spektrale Strahldichte hingegen zur kurzwelligen
ektrenseite hin zunehmen, müßte sich die effektive Brech-
aftsdifferenz verringern. Dieser Fall kann sich unter natür-
chen Bedingungen ergeben.

Ein Beispiel für eine mögliche spektrale Energieverteilung des Tageslichtes gibt die Abb.5. Es handelt sich um die ormalkurve der spektralen Verteilung der Intensität der Globalstrahlung nach HERMANN 1937, die nach seinen Angaben bei olkenlosem Himmel praktisch von der Sonnenhöhe und vom Trübungsgrad der Atmosphäre unabhängig ist. Der in diesem Zusammenhang wichtige Gipfel der Kurve bei ca. 530 nm fällt etwas iter in den kurzwelligeren Bereich, als der spektralen Lage s Hellempfindlichkeitsmaximums im Hellen (554 nm) entricht. Das Hellempfindungsmaximum liegt deswegen geringfügig rzwelliger.

Die Verhältnisse sind nun aber am Tage insofern kompliert, als sich hier bei der Betrachtung farbiger Bildobjekte etwa grüner Wiesen oder roter Ziegeldächer usw.) eine rschiebung der spektralen Lage des Hellempfindungsmaximums geben kann. Außerdem unterliegt die Einstellung des Auges im llen einer gewissen Trägheit. POLACK 1963 fand, daß ein auf t (blau) akkommodiertes Auge auf rot (blau) akkommodiert eibt, wenn nach dem farbigen Licht weißes angeboten wird. ANOFF 1954 stellte beim Blick in die Ferne mehr Einstellung f Blau und beim Blick in die Nähe mehr auf Rot fest (akkomdationssparender Vorgang).

Für das Sehen im Hellen dürfen wir deswegen nur von einer rchschnittlichen spektralen Lage des Hellempfindungsmaxims bei ca. 550 nm sprechen. Beim Sehen bei geringen Leuchtchten möchten wir aber eine genauere Einstellung des Auges f die Wellenlänge maximaler Hellempfindung annehmen, da das hwellennahe Sehen wahrscheinlich dazu zwingt, das Hellempindungsmaximum voll zu nutzen.

Die spektrale Energieverteilung des Tageslichtes ändert ch mit abnehmender Leuchtdichte. Mit Einbruch der Dämmerung mmt es durchschnittlich zu einer gewissen Zunahme des kurzlligen Lichtanteiles (LÖHLE 1941, SIEDENTOPF und HOLL 1944). e Struktur des Dämmerungsspektrums entspricht jedoch weithend noch dem des Tageslichtes.

Sinkt die Sonne aber unter etwa - 18°, wandelt sich die

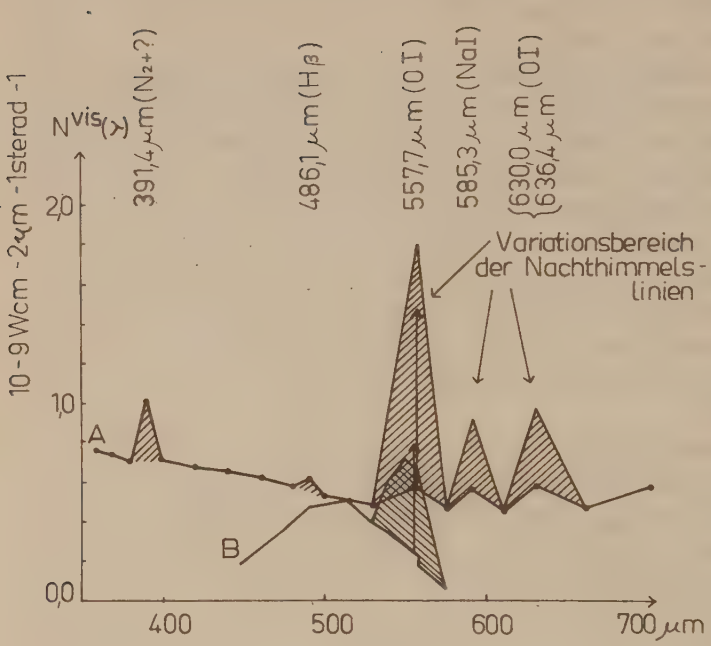

Abb.6 : Kurve A – Schematisches Nachthimmelsspektrum nach HÖHN und MAFFEO 1967/68.(Absz.:Lichtwellenlänge, Ord.: Strahldichte).
Kurve B – Spektrale Hellempfindung als Produkt aus spektraler Stahldichte (Werte der Kurve A) und spektraler Hellempfindlichkeit (Werte der WEAVER'schen Stäbchenkurve).Die senkrechten Pfeile bezeichnen die spektrale Lage des Strahldichtemaximums (oben)und des Hellempfindungsmaximums (unten) bei ausgeprägter O_I-Linie – s. Text.

Spektrale Energieverteilung des Lichtes auf der Erde grundlegend,da dann andere Lichtquellen dominieren (Licht der

erne unserer Galaxis 22 %, Zodiakallicht 44 %, Nachthimmels-
chten der irdischen Atmosphäre 33 %, Licht extragalaktischer
erne 1 %).

Die Abb.6 zeigt die Ergebnisse allerjüngster, teilweise
ch nicht veröffentlichter Messungen der spektralen Strahl-
chte des klaren Nachthimmels von HÖHN und MAFFEO 1968.

Berücksichtigt man zur Ermittlung der spektralen Lage des
chtlichen Hellempfindungsmaximums (entsprechend dem Verfah-
n in Abb.4) nur den kontinuierlichen Teil des Spektrums, so
ndet man es geringfügig kurzwelliger liegend als die spek-
ale Lage des WEAVER'schen Hellempfindlichkeitsmaximums (513nm),
die spektrale Strahldichte des nächtlichen Spektrums im
tsprechenden Bereich zum Kurzwelligen hin leicht zunimmt.

Da die spektrale Strahldichte im Hellen wie im Dunkeln
m Kurzwelligen hin leicht ansteigt, resultiert entsprechend
serer auf S.19 gemachten Überlegungen zwischen Hell und Dun-
l ein etwas geringerer Brechkraftsunterschied als o,3 dptr.

Neben dem kontinuierlichen Teil sind beim Nachthimmels-
ektrum aber noch einige Spektrallinien zu beachten. Die In-
nsität dieser Spektrallinien unterliegt größeren Schwan-
ngen, der Variationsbereich ist aus der Abb.6 ersichtlich. Bei
ärkerer Ausprägung kann die O_I-Linie bei 557,7 nm die spek-
ale Lage des nächtlichen Hellempfindungsmaximums beeinflus-
n. Dann nähert sich die spektrale Lage des nächtlichen Hell-
pfindungsmaximums der am Tage. In diesem Fall muß die chroma-
sche Aberration als Teilursache der Nachtmyopie entfallen.

Man könnte nun einwenden, daß die Form der in Abb.6 ver-
ichneten Nachthimmelslinien nicht der Wirklichkeit entspricht.
tsächlich handelt es sich bei den Nachthimmelslinien um
hte Linienspektren. Die breite Basis der in Abb.6 verzeich-
eten Nachthimmelslinien ist rein methodisch bedingt. Folglich
ann in Wirklichkeit auch nur ein linienförmiger spektraler
ellempfindungsgipfel auf der O_I-Linie bestehen, der freilich
esentlich höher reicht als verzeichnet. Der Integrationsbereich
ntspricht nämlich bei den Kurven von HÖHN und MAFFEO bei je-
er Messung der Lichtintensität eines spektralen Bereiches
on 1o - 2o nm. Das ist aber größenordnungsmäßig dem Integra-
ionsvermögen des Auges vergleichbar, wie es sich aus der Netz-
autrezeptorenlänge ergibt. Die Werte der Abb.6 sind also wahr-

scheinlich hier anwendbar.

Die besondere spektrale Zusammensetzung der von den am Tage farbig erscheinenden Bildobjekten ausgehenden Lichtstrahlen ist natürlich auch nachts eine charakteristische.Da die Stäbchenkurve aber steiler verläuft als die der Zapfen,kann die Abweichung der spektralen Lage des Hellempfindungsmaximums von der des Hellempfindlichkeitsmaximums nachts nicht so groß sein wie am Tage (s.auch S.21).

Zusammengefaßt ergibt sich:

Die Höhe des durch chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen bedingten Teils der Nachtmyopie beträgt beim Sehen im Freien gewöhnlich knapp ,o,3 dptr.Bei starker Ausprägung der O_I-Linie des Nachthimmel-s-pektrums kann dieser Teil der Nachtmyopie aber wahrscheinlich auch ganz entfallen.Im Lichte von Temperaturstrahlern mit starkem Rotgehalt im sichtbaren Spektrum übersteigt er o,3 dptr wahrscheinlich etwas.

5. Bildortsverlagerung innerhalb der meridionalen Kaustik

Eine punktförmige Lichtquelle wird auf der Retina des menschlichen Auges nicht als Lichtpunkt,sondern als Beugungsscheibchen abgebildet,weil die verschiedensten Abbildungsfehler wie etwa sphärische Aberration,chromatische Aberration, Astigmatismus schiefer Bündel,Asymmetriefehler,dazu Verzeichnung und Verzerrung,Zerstreuung und Beugung und anderes Einfluß auf die Abbildung gewinnen.

Das Beugungsscheibchen stellt eine Queraberration der meridionalen Kaustik der Bildpunktsstrahlen dar.Wir können auch kurz von Querkaustik sprechen.Die Qualitäten einer solchen Querkaustik sind mit Lichtverteilung,Lichtbegrenzung,Form und Ausdehnung zu beschreiben.Je nach Lage innerhalb der meridionalen Kaustik ändert sich die Qualität der Querkaustik charakteristisch.

Nach Gullstrand 19o9 ist die meridionale Kaustik im menschlichen Auge durch eine Spitze in positiver und zwei Spitzen in negativer Richtung gekennzeichnet.Die Querkaustik zeigt e sprechend typische Zerstreuungsfiguren : Im "myopischen" Schnitt helles Zentrum mit umgebenden Zerstreuungsring,im "hyperopischen" Schnitt heller Ring mit dunklem Zentrum (Abb.7).

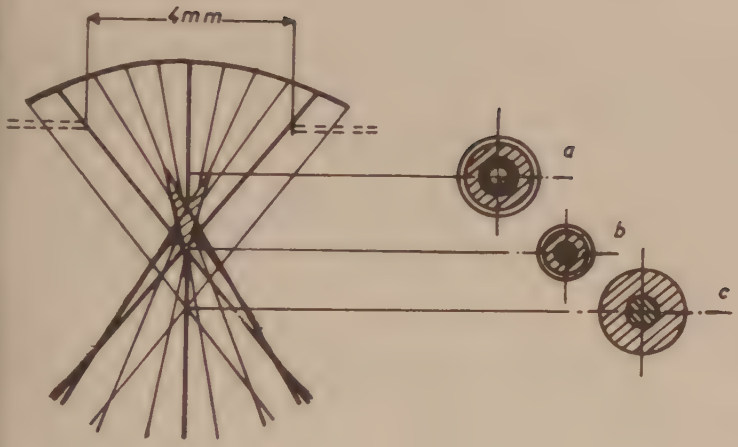

Abb.7 : Schematische Darstellung der Kaustik im menschlichen Auge bei Abbildung eines unendlich fernen Punktes nach GULLSTRAND (zit.n.SCHOBER 1957/58)
Der Lichtweg verläuft von oben nach unten.Der Schnitt bezieht sich auf den horizontalen Meridian. Auf der rechten Seite sind die Bilder von Schnittebenen senkrecht zur optischen Achse dargestellt.In Bezug auf die engste,zwischen a und b gelegenen Bündelstelle würde Bild a ein hyperopes,Bild b und c ein myopes Auges betreffen.

ese Eigenschaften lassen sich auch subjektiv gut erkennen MÜLLER-REE 1896,ROESSLER 1947).

Mit abnehmender Leuchtdichte nimmt die Pupillenweite zu, durch werden die Randstrahlen auf der Netzhaut abgebildet id verändern die Qualität der Querkaustik.Die beschriebenen guren bleiben jedoch erhalten.

Das von der Retina zentralwärts geleitete Erregungsmuster tspricht dieser optischen Abbildung auf der Netzhaut nicht llständig.Durch besondere Verknüpfung der Rezeptoren und der chfolgenden Ganglienzellen,durch Hemmungs- und Bahnungspro- sse usw. wird es verändert.Dadurch wird es denkbar,daß die ch optischen Gesichtspunkten günstigste Querkaustik nicht

mit der nach physiologischen bzw. psychologischen Gesichtspunkten günstigsten Querkaustik identisch ist.

Welche Querkaustik nun für das Sehen die günstigste ist, kann möglicherweise verschieden sein. Und zwar deshalb, weil das Sehen aus mehreren Teilfunktionen besteht, zu deren wichtigsten das Auflösungsvermögen und die Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE) gehören. Beide Faktoren wirken wohl beim Sehen zusammen, sind aber im Grunde zu trennen.

Für die LUE kommt es nun wahrscheinlich auf die größtmögliche Summation der Einzelerregungen auf der Netzhaut an, während für maximales Auflösungsvermögen geringste Summation verlangt wird.

Die Qualität des Sehens im Hellen wird sicher in erster Linie durch das Auflösungsvermögen bestimmt, die Netzhautrezeptoren sind also wahrscheinlich auf geringste Summation geschaltet. Das kann sich das Auge deshalb leisten, weil die Reize im Hellen weit überschwellig sind. Entsprechend liegt der wirksame Bildort im Hellen wahrscheinlich am Ort des engsten Bündels der Kaustik (SCHOBER 1957/58). Mit abnehmender Leuchtdichte wird die Bedeutung der LUE für das Sehen sicher größer. Es ist anzunehmen, daß die Netzhautelemente in Abhängigkeit von der Leuchtdichte jeweils dann auf größere Summation geschaltet werden, wenn die Reize bei Schaltung auf geringere Summation unterschwellig werden.

Welche Querkaustik nun für die LUE die meisten Vorteile bietet, ist bisher nicht bekannt. Immerhin aber ist es nicht abwegig, von einer in positiver oder negativer Richtung vom engsten Bündel der Kaustik wenig entfernt gelegenen Querkaustik einen höheren Summationseffekt zu erwarten.

Nachtmyopie könnte auf diese Weise entstehen, wenn sich der Bildort innerhalb der Kaustik in Richtung hinter die Netzhaut verlagern würde. Der so u.U. entstehende Teil der Nachtmyopie kann aber höchstens - o,2 dptr betragen, da von den durchschnittlich - o,5 dptr Nachtmyopie, die unabhängig von Akkommodation gemessen werden, gewöhnlich um - o,3 dptr schon durch chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen erklärt sind.

Mögliche Ursachen des durch Akkommodation ausgelösten Teils der Nachtmyopie.

Eine direkte Messung des akkommodativen Anteils der Nachtmyopie läßt die Photographie der Purkinje-Sanson`schen Spiegelbildchen zu.Die so gewonnenen Ergebnisse sind nicht einheitlich. [illegible]OMEN et al. 1953 fanden bei Dunkelheit eine Einstellung der Akkommodation auf die Ferne trotz nachweisbarer Nachtmyopie nicht waren deshalb geneigt,das gesamte Phänomen "Nachtmyopie" auf Aberration zurückzuführen.Sie untersuchten jedoch nur drei Personen.Dagegen fanden OTERO et al.1953 bei ähnlichen Untersuchungen durchschnittlich - 1,2 dptr,CAMPBELL und PRIMROSE 1953 an sechs Vpn.durchschnittlich - o,82 dptr und OTSUKA et al. 1955 - o,85 ± o,39 dptr akkommodative Nachtmyopie.

Sehr leicht läßt sich die Höhe des akkommodativen Anteils der Nachtmyopie indirekt bestimmen,da nach unseren obigen Ausführungen ganz generell der Teil der Nachtmyopie,der durchschnittlich - o,5 dptr übersteigt,durch Akkommodation ausgelöst sein muß.Da die Angaben über die Gesamthöhe der durchschnittlichen Nachtmyopie bei den einzelnen Autoren,wie aus Tab.1 hervorgeht,stark differieren,muß das Ausmaß der Akkommodation bei den verschiedenen Methoden sehr unterschiedlich gewesen sein.

Anschauungen,nach denen die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten einen regelmäßigen physiologischen Vorgang darstellt.

Nach folgenden Hypothesen ist die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten als regelmäßiger physiologischer Vorgang aufzufassen:

a. IVANOFF`s These von der Beseitigung der sphärischen Aberration durch Akkommodation
b. SCHOBER`s Hypothese zur Erklärung der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten
c. KÜHL`s Hypothese von der Akkommodationsruhelage.

a. IVANOFF's These von der Beseitigung der sphärischen Aberration durch Akkommodation.

IVANOFF 1947 ff. berichtete über die in Abb.8 gezeigte Abhängigkeit der sphärischen Aberration vom Akkommodationszustand des Auges.

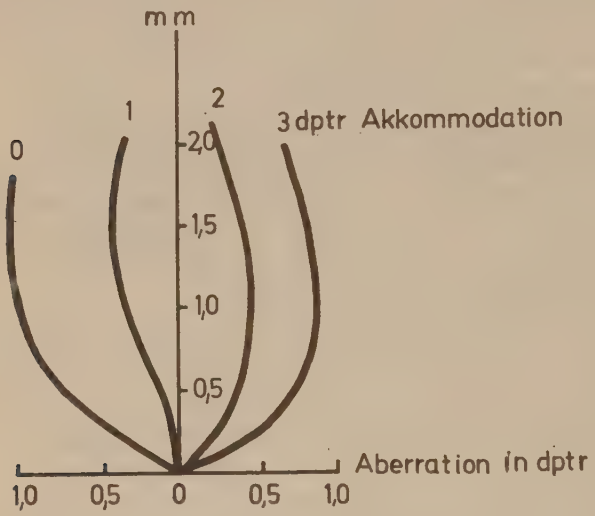

Abb.8 : Abhängigkeit der sphärischen Aberration vom Akkommodationszustand des Auges nach IVANOFF 1947 (zit.n.MÜTZE 1956) - s. Text.

Nach rechts und links ist die sphärische Aberration, also die Entfernung aufgetragen, in der jeweils ein scharfes Bild erzeugt wird. Nach oben ist die Entfernung des zur Bildentstehung benutzten Strahlenbündels von der optischen Achse eingezeichnet. Die vier Kurven entsprechen vier Akkommodationszuständen des Auges (zit.n.MÜTZE 1956).

Nach dieser Darstellung ist die sphärische Aberration bei einer Akkommodation von 1 bis 2 dptr praktisch korrigiert. IVANOFF vertrat die Ansicht, daß die Beseitigung der sphärischen Aberration bei geringen Leuchtdichten (und damit entsprechend weiter Pupille) möglicherweise einen Akkommodationsreiz darstellen könnte.

Der optischen Verbesserung des Bildes auf der Retina
rch die Beseitigung der sphärischen Aberration stehen dabei
oer die optischen Nachteile einer myopischen Abbildung bei
nangepaßter Akkommodation entgegen.Nach optischen Gesichts-
ankten erscheint daher die Akkommodation von 1 bis 2 dptr
mindest für ein optimales Auflösungsvermögen nachteilig zu
in.Außerdem soll nochmals daran erinnert werden,daß das
änomen der Nachtmyopie allein durch die Minuskorrektion
ahme,d.h. durch das Verlangen nach Beseitigung der myopischen
bbildung gekennzeichnet ist.

Eine Akkommodation von 1 bis 2 dptr könnte aber dann
nen Vorteil für die Güte des Netzhautbildes durch Beseiti-
ng der sphärischen Aberration bringen,wenn die dabei ent-
ehende myopische Abbildung durch künstliche optische Hilfen
fort wieder ausgeglichen würde.So verursachte Nachtmyopie
re aber erst in dem Moment sinnvoll,in dem die optischen
lfen auch zur Verfügung stehen.Sie wäre also ein experimen-
lles Kunstprodukt.

Tatsächlich kann man ja schon beim Refraktionieren im
llen beobachten,daß vor allem bei jüngeren Menschen die
igung besteht,zu starke Minusgläser anzunehmen,da das Bild
nn kontrastreicher erscheint.Das Auflösungsvermögen wird
durch aus verständlichen Gründen nicht verbessert.Ob so bei
ringen Leuchtdichten eine Sehleistungsverbesserung erreicht
rden kann,wäre zwar denkbar,ist uns aber nicht bekannt.

Die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten kann auf
ese Weise aber zumindest nicht allein erklärt werden.Dafür
richt,daß mehrere Autoren mittels Photographie der Purkinje-
nson'schen Spiegelbildchen Akkommodation bei geringen Leucht-
chten auch unabhängig von der Zuhilfenahme optischer Korrek-
ren feststellten,und auch die Tatsache,daß die Höhe der
chtmyopie bei ein und der selben Vpn. sehr verschieden sein
nn.

b. SCHOBER's Hypothese zur Erklärung der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten.

Wie IVANOFF nimmt auch SCHOBER 1947 ff. zur Erklärung der
kommodation bei geringen Leuchtdichten einen bestimmten

Akkommodationsreiz an.Er unterstellt,daß die Akkommodation durch den Vorteil,den die Zerstreuungsfigur der myopen Abbildung (nach GULLSTRAND 1909 :helle zentrale Scheibe mit weniger heller Aureole - Abb.7) für das Sehen bei geringen Leuchtdichten bieten würde,erklärt sei.

SCHOBER schreibt: "...Die unscharfe,und zwar leicht myope Abbildung im Auge erscheint geradezu notwendig aus Gründen des Lichtsinnes,d.h. um die Empfindlichkeit der Netzhaut zu steigern.Das Ausmaß dieser Unschärfe,d.h.das Verhältnis zwischem zentralem Bildfleck und Aureole wird durch die Sehschärfe bestimmt und dann durch die Akkommodation eingeregelt."

SCHOBER zieht zur Begründung seiner Ansicht eine Parallele zur Aufgabe des Tapetum lucidum bei Nachttieren,dessen Funktion nach PÜTTER 1912 in der Bildung von Streulicht liegt, welches die Netzhautempfindlichkeit verbessern soll.Beim Menschen würde nach SCHOBER ein ähnlicher Effekt durch die Zerstreuungsfiguren der myopischen Abbildung erreicht.

Daß die Netzhautempfindlichkeit nach Aufhellung der Umgebung wesentlich verbessert wird,soll nach SCHOBER durch eine Beobachtung von PIPER 1903 bestätigt werden.PIPER fand, daß die Adaptation,gemessen als absolute Lichtsinnschwelle am Adaptometer von ENGELKING-HARTUNG durch das Auftreten eines nicht allzu blendenden,in der Peripherie des Gesichtsfeldes liegenden Störlichtes merkwürdigerweise nicht verschlechtert, sondern sogar gebessert wird.

Tatsächlich wurde PIPER`s Beobachtung bestätigt.Sie ist aber nur in einem engen Leuchtdichtebereich des Störlichtes zu beobachten,in dem die Störung durch Verringerung der Kontraste geringer ist als die Steigerung der LUE durch stärkere Helladaptation.

Außerdem hat nach den Ergebnissen von HARMS und AULHORN 1955 der Adaptationszustand der Umgebung eines bestimmten Netzhautareals keinen Einfluß auf den Adaptationszustand dieses Areals selbst.Eine Ausnahme bildet lediglich das für unsere Belange hier nicht bedeutsame Phänomen des Grenzkontrastes.

SCHOBER 1947 bestimmte die Höhe der Nachtmyopie - wie einige andere Autoren - indem er die Höhe der Minuskorrekturannahme ermittelte,bei der ein optimaler Bildeindruck erreicht

rde.Nach SCHOBER verbessert die Korrektur der natürlichen
chtmyopie das Auflösungsvermögen,verschlechtert aber die LUE.
raus würde folgen,daß die Qualität des Bildeindruckes in
ster Linie durch das Auflösungsvermögen bestimmt wäre. [illegible]
ntelle Bestätigungen dieser Zusammenhänge,sowie einer V[illegible]-
sserung der LUE durch unkorrigierte Nachtmyopie sind uns
sher nicht bekannt geworden.Die Angaben verschiedener Auto-
n über die Beeinflussung des Auflösungsvermögens bzw. [illegible]
durch Korrektur der Nachtmyopie sind widersprüch[illegible]
ssen noch keine endgültigen Aussagen zu.

Aus der SCHOBER`schen Hypothese ergeben sich außerdem
nige Widersprüche: Nach ihr müßten unter den gleichen Um-
inden und zum gleichen Zeitpunkt,unter denen unbewußt zur
'besserung der LUE akkommodiert wird,Minuskorrekturen zur
seitigung der optischen Folgen der Akkommodation zur Ver-
sserung des Auflösungsvermögens angenommen werden.Es ergäbe
h der widersprüchliche Zustand,daß im gleichen Moment durch
uskorrekturannahme die günstigsten optischen Bedingungen
geringstmögliche Summation der Einzelerregungen der Netz-
t geschaffen werden,in dem diese noch bei ja fortbestehen-
Akkommodationsreiz auf große Summation geschaltet sein
.Mit der Minuskorrekturannahme wird die von SCHOBER ver-
tene Zweckmäßigkeit der natürlichen Nachtmyopie sehr in
ge gestellt,da diese ja dabei aufgehoben wird.

Weiterhin vereinbart sich die SCHOBER`sche Hypothese
ht mit den großen Schwankungen der Nachtmyopiehöhe bei
zelnen Vpn. und mit den großen interindividuellen Unter-
ieden der Nachtmyopiehöhe.Wenn die Akkommodation bei gerin-
Leuchtdichten durch Vorteile,die sich aus der Abbildung
er bestimmten Querkaustik auf der Netzhaut für das Sehen
eben,bedingt wäre,müßte man doch erwarten,daß stets diese
e Querkaustik bei geringen Leuchtdichten auf der Netzhaut
ebildet würde.Das ist aber offensichtlich nicht der Fall.

. KÜHL`s Hypothese von der Akkommodationsruhelage

KÜHL 1944 versuchte die Akkommodation bei geringen Leucht-
hten mit seiner Hypothese von der Akkommodationsruhelage
erklären.Da diese Akkommodationsruhelage in der Literatur
er wieder als eine der wesentlichen Ursachen der Nacht-

myopie bezeichnet wird,werden wir uns etwas ausführlicher mit diesem Problem beschäftigen.

KÜHL fand gegen Ende des Krieges bei Kontrolle der Ergebnisse der Nachtmyopieuntersuchungen von OTERO und DURAN 1941 unter Verwendung von Brillengläsern und Landoltringen bei Leuchtdichten um o,o1 asb das Sehschärfemaximum bei einer Korrektur von - 1,5 bis - 2,o dptr.Wurde diese Optimalkorrektur durch weitere Minus-oder Plusgläser verändert,nahm die Sehschärfe nach beiden Seiten gleichmäßig ab.Er zog daraus den Schluß,daß die Akkommodation des Auges bei geringen Leuchtdichten wegen ungenügender Akkommodationsreize in eine genau festgelegte,dem Akkommodationsapparat eigene Indifferenzstellung einschwenkt.Diese sollte entsprechend seinen Versuchsergebnissen bei - 1,5 bis-2,o dptr liegen,der akkommodative Teil der Nachtmyopie so erklärt sein.

MÜTZE 1956 definierte die Akkommodationsruhelage als Zustand,"in dem sich der ganze an der Akkommodation des Auges beteiligte Apparat mit Linse,Kapsel,Zonula,Ciliarmuskel usw. in einem Gleichgewicht befindet,sofern nur alle Reize fehlen, die in irgendeiner Form die Akkommodation oder Desakkommodation anregen."

Eine Darstellung von PALACIOS 1943 unterstützte die Hypothese von KÜHL.Danach wird die Akkommodationsbreite mit abnehmender Leuchtdichte bei etwa o,o1 asb gleich null und zwar bei einer akkommodativen Einstellung von - 1,o bis - 2,o dptr (Abb.9).Wegen der Ähnlichkeit mit der Alterssichtigkeit nannte er diese Erscheinung "Nachtpresbyopie".

Berichte über eine Nachtkonvergenz,die auf o,5 bis 1 m gerichtet sein sollte,schienen die Ansichten KÜHL`s zu bestätigen.Nach OTERO et al.1958 besteht die Nachtmyopie jedoch auch ohne Konvergenz.

Einige Autoren versuchten,die Ruhelage der Akkommodation experimentell zu bestimmen.Prinzip dieser Versuche ist es, die Akkommodationsreize unabhängig von der Leuchtdichte zu beseitigen.SIEBECK 196o versuchte,die Akkommodationsruhelage unter Anwendung des Prinzips des Scheiner`schen Versuches zu bestimmen.Die Löcher der Blende,deren Abstand 3 mm betrug, waren dabei so klein,(d = o,3 mm),daß in jedem Fall ein scharfes Bild entstand.Dadurch war nach seiner Meinung jegli-

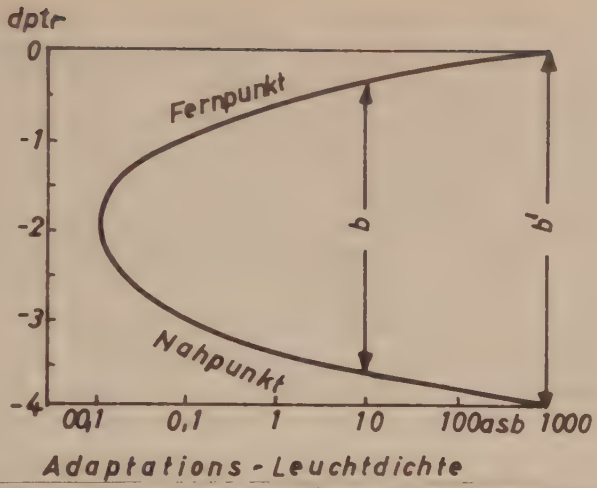

Abb.9 : Verlauf der Nachtmyopie und Nachtpresbyopie nach PALACIOS 1943.

Der obere Kurvenast stellt die Leuchtdichteabhängigkeit des Fernpunktes (Nachtmyopie), der untere Kurvenast die Leuchtdichteabhängigkeit des Nahpunktes (Nachtpresbyopie) dar. Der mit b bzw. mit b' gekennzeichnete lotrechte Streckenabschnitt bezeichnet die zur jeweiligen Adaptationsleuchtdichte gehörende Akkommodationsbreite (zit.n. SCHOBER 1957/58).

er Akkommodationsreiz ausgeschaltet. Durch Vorsetzen von illengläsern wurde dann geprüft, wann ein einfaches Bild entand. Bei 1o jugendlichen Vpn. kam er auf einen Durchschnittsrt von - o,68 dptr, wobei dieser Wert bereits um - o,5 dptr r durch sphärische Aberration bewirkten Myopisierung korriert ist.

Dazu ist jedoch zu bemerken, daß die Strahleneinfallshöhe n 1,5 mm, entsprechend einem Abstand der Löcher von 3 mm, rade die Pupillenzone betrifft, bei der sich die sphärische erration maximal auswirkt. Die Korrektur der Ergebnisse um o,5 dptr ist deshalb sicher nicht zureichend (vgl.S.12).

LAU, WEBER und MÜTZE 1956 versuchten die Akkommodationshelage mit ihrem Dioptriemeter zu messen. Bei mehreren 4ojähgen Vpn. fanden sie eine durchschnittliche, leuchtdichteunhängige Akkommodation von etwa - 2,o dptr, bei 2ojährigen wa - 4,o dptr. Mit zunehmendem Alter näherte sich die gemesne Akkommodationsruhelage der Fernpunktslage der Akkommodation.

Zur Frage,ob diese Ergebnisse nicht als Instrumentenmyopie zu deuten sind,nehmen wir später noch Stellung.

Daß beim Fehlen ausreichender Akkommodationsreize eine gewisse Akkommodation eintritt,wurde noch durch andere Beobachtungen bestätigt.TEN DOESCHATE 1958,1960 beschreibt eine sogenannte "Leerfeldmyopie".Bei leerem Gesichtsfeld fand er bei jüngeren Vpn. - 0,25 bis - 1,75 dptr Myopie im Hellen,während die Leerfeldmyopie bei älteren Vpn. oft fehlte.

Ähnliche Erscheinungen beschreibt PENDRIEL (zit.n. MERCIER 1960) bei einer Forschergruppe im Packeis,wo wegen der geringen Kontraste ausreichende Akkommodationsreize fehlen sollen.

Nach WHITESIDE 1957 soll sich bei Flügen im Nebel nach Entfernung eines vorher vorhandenen Fixierpunktes konstant eine Myopie von - 0,5 bis - 1,0 dptr einstellen.

MERCIER 1960 fand bei Flügen in großer Höhe eine "Raummyopie" bis zu - 2,0 dptr.

Wir müssen uns darüber im Klaren sein,daß alle diese Befunde lediglich beweisen,daß die Akkommodation beim Fehlen ausreichender Akkommodationsführung mit gewisser Konstanz zunimmt.Nichts aber ist darüber ausgesagt,ob die Akkommodation in eine festgelegte,stabile Ruhelage im Sinne KÜHL's einschwenkt.

Die Annahme einer solchen Ruhelage würde natürlich eine Bedeutung haben,die weit über die Erklärung des akkommodativen Teils der Nachtmyopie hinausgeht.Als Bezugspunkt der akkommodativen Einstellung des Auges dürfte dann nicht wie bisher die Fernpunktslage der Akkommodation fungieren,sondern eine akkommodative Einstellung von - 1,5 bis - 2,0 dptr.Daraus würde folgen,daß von einer solchen Akkommodationsruhelage aus, die Möglichkeit einer negativen Akkommodation in Richtung Fernpunktslage und darüber hinaus zu fordern ist.

Eine entscheidende Schwierigkeit für die Annahme der Möglichkeit einer negativen Akkommodation lag zunächst darin, daß man bis vor kurzer Zeit glaubte,daß der Ziliarkörper rein parasympathisch innerviert würde.Nach den Untersuchungen von MEESMANN 1952,1955 und MONJE 1952,die den Einfluß des Sympathikus auf den Ziliarmuskel,und somit dessen antagonistische Innervation bewiesen,sowie den Untersuchungen von WOLTER 1953 (histologischer Nachweis sympathischer Nervenendigungen im Ziliarkörper) schienen die Voraussetzungen für eine Akkomo-

tionsruhelage im Sinne KÜHL's bzw. für negative Akkommodati-
gefunden.MONJE 1952 folgerte: "...die Fernpunktseinstellung
an demnach nicht als Ruhelage oder Akkommodationslosigkeit
gefaßt werden.Es kommt vielmehr auf das Verhältnis des
lomotorius zum Sympathicus an,das vom Alter,individuellen
erschieden ,Heterophorien u.a. abhängig ist."

Einige Autoren versuchten,die Möglichkeit einer über die
rnpunktslage hinausgehenden negativen Akkommodation experi-
tell zu beweisen.IVANOFF berichtete 1951 über Versuche L.
ND's (zit.n.MÜTZE 1956).LE GRAND skiaskopierte 4 kurz-
chtige oder durch entsprechende Linsen myop gemachte Vpn.
mal ohne angestrengtes Hinsehen und dann bei äußerst an-
strengtem Hinsehen auf eine Sehprobe und fand bei letzterem
n deutliches Hinausrücken des Fernpunktes um 2 bis 3 dptr.
s war aber nur kurzfristig und unter äußerster Anstrengung
glich.Sehschulen,in denen versucht wurde,die Myopie durch
ng zu beseitigen,hatten nur geringen Erfolg.

DAVSON,OLMSTEDT und MORGAN (zit.n. SCHOBER) stellten
er sehr hohen Kokaindosen (1o %ig) eine Hyperopisierung
o,5 dptr fest.Diese Erscheinung wurde als direkte Wirkung
f den Ziliarmuskel im Sinne einer negativen Akkommodation
deutet.

Neue Gesichtspunkte zur Frage der Möglichkeit negativer
kommodation brachten die Versuchsergebnisse von FLEMING et al.
69.Er fand nach Reizung des Halsganglions der Katze deut-
h negative Akkommodation und wies nach,daß diese durch die
f den massiven sympathischen Reiz erfolgte Verengerung der
liarkörpergefäße via Volumenminderung des Ziliarkörpers
i als deren Folge bewirkte Spannungsänderung der Zonula-
sern verursacht wurde.Ergebnisse von ELUL et al.1965 und
rgan 1958 bestätigen das.Umgekehrt kann man ja auch bei
clitis transitorische Myopien finden.

Nun ist aber kaum anzunehmen,daß unter physiologischen
rhältnissen dieser Mechanismus auf die Akkommodation Ein-
uß gewinnt.Doch sind einige Versuchsergebnisse,die für die
glichkeit einer negativen Akkommodation zu sprechen schie-
n,durch diese Zusammenhänge möglicherweise zu erklären.

Gegen die Möglichkeit einer negativen Akkommodation über
n Fernpunkt hinaus wurde auch vorgebracht,daß unter Atropin
d Adrenalin keine negative Akkommodation nachweisbar ist,
ndern Fernpunktseinstellung vorliegt.

Nach zunächst gegensätzlicher Äußerung räumt MEESMANN 1955 dann auch ein, daß ein echter Antagonismus zwischen Parasympathikus und Sympathikus am Akkommodationsapparat nicht vorliegt. Dem Sympathikus kommt mehr variierende Wirkung auf die Einstellung des Akkommodationsapparates zu. So wirken z.B. Sympathikomimetika praktisch erst nach vorheriger Parasympathikusreizung und Sympathikolytika nur gering und bei intaktem Parasympathikus am Ziliarmuskel.

Die bei Presbyopen gelegentlich nach längerer Nahakkommodation erschwerte Einstellung auf den Fernpunkt, die auch als Folge einer Anstrengung zu negativer Akkommodation gedeutet wurde, läßt sich natürlich auch durch mangelhafte Linsenelastizität deuten. Man muß sich bei den Presbyopen vielmehr die Frage stellen, warum sie auf den Fernpunkt eingestellt sind, während bei Annahme einer festen Akkommodationsruhelage im KÜHL'schen Sinne doch eher Einstellung auf den angenommenen Ruhepunkt in o,5 bis 1 m Abstand vom Auge zu erwarten wäre.

Entscheidend gegen eine stabile Akkommodationsruhelage im Sinne KÜHL's (und damit einer Erklärung des akkommodativen Teils der Nachtmyopie durch diese) sprechen jedoch die Ergebnisse der Nachtmyopieuntersuchungen selbst:

Es ist unmöglich, die Einnahme einer solchen stabilen Ruhelage der Akkommodation in Einklang damit zu bringen, daß erstens, wie beschrieben, erhebliche Unterschiede der durchschnittlichen Nachtmyopiehöhe zwischen den Ergebnissen verschiedener Untersucher vorliegen, daß zweitens große individuelle Unterschiede der Nachtmyopiehöhe bestehen, und daß drittens für die Einzelperson die gemessene Nachtmyopiehöhe keinesfalls konstant ist (HAMBURGER 1949 u.a.). Entgegen der Ansicht von PALACIOS 1943 erwies sich auch die Akkommodationsbreite bei geringen Leuchtdichten bei unseren eigenen Versuchen wohl als eingeschränkt, sie war aber keineswegs gleich null.

Die vorliegenden unterschiedlichen Ergebnisse der Messungen der Nachtmyopiehöhe scheinen nur durch jeweils unterschiedliche Akkommodation erklärbar zu sein, deren Ausmaß offenbar entscheidend von der Untersuchungsmethodik abhängt.

Im folgenden Abschnitt sollen solche Faktoren, die möglicherweise Einfluß auf die Höhe der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten gewinnen können, besprochen werden.

2. Akkommodationsbegünstigende Faktoren, die bei verschiedenen Methoden der Bestimmung der Nachtmyopie in unterschiedlichem Maße zur Wirkung kommen können.

Wir wollen solche Faktoren folgendermaßen einteilen:

a. Der Eindruck unbefriedigenden Sehvermögens
b. Die Instrumenten- oder Apparatemyopie
c. Eigenschaften der Versuchspersonen, welche die [illegible] Akkommodation bei geringen Leuchtdichten beeinflussen können.

a. Der Eindruck unbefriedigenden Sehvermögens als Ursache der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten.

Man darf wohl annehmen, daß der akkommodative Teil der Nachtmyopie erst dann einsetzen kann, wenn mit der herabgesetzten Leuchtdichte eine bestimmte Mindestsehschärfe, wie man sie für eine sichere Führung der Akkommodation benötigt, unterschritten wird. Sinkt die Leuchtdichte unter dieses Limit, wird der Grad der Akkommodation offenbar durch andere Faktoren bestimmt. Unter anderem scheint dann der Eindruck guten oder schlechten Sehvermögens Einfluß auf die Höhe der akkommodativen Einstellung zu gewinnen.

KATZ 1949 berichtet, daß Fernrohrbeobachter um so stärkere Minuskorrekturen annahmen, d.h. um so stärker akkommodierten, je undeutlicher, ungegliederter und kontrastärmer das Testfeld war. Im exstremsten Fall fand er bis zu 6 dptr Korrekturannahme.

Wir wollen versuchen, dieses Phänomen zu deuten:
Mit abnehmender Leuchtdichte nimmt das Auflösungsvermögen bei der notwendigen zunehmenden Schaltung der Netzhautelemente auf Summation ab. Möglicherweise entsteht dabei zentral ein Erregungsmuster, das dem im Hellen bei unscharfem Retinabild durch unangepaßte Akkommodation sehr ähnlich ist, wie ja im Dunkeln auch der Eindruck schlechten Sehvermögens zu bestehen scheint. Dann aber wäre es denkbar, daß wie im Hellen nun auch im Dunkeln versucht wird, die vermeintliche Unschärfe durch Akkommodation zu beseitigen, was natürlich nicht gelingen kann.

Asthenopische Beschwerden mancher Nachtbeobachter wären

so auf einleuchtende Weise zu erklären.

GULLSTRAND meinte (zit.n.HAMBURGER 1949),daß mit dem Gedanken,scharf zu sehen,eine Innervation der Akkommodation verbunden ist,die nur durch Übung überwunden werden kann.Bei den meisten der jüngeren Vpn. kann man entsprechend auch mit der Aufforderung,besonders scharf hinzusehen,eine Akkommodation auslösen.Bei den Nachtmyopieuntersuchungen,die mit Funktionstesten im Grenzgebiet der Sehleistung verbunden sind,müßte man dann einen ähnlichen Effekt erwarten.

Danach kann auch die Angabe einzelner Untersucher nicht überraschen,daß der Adaptationszustand des Auges einen großen Einfluß auf die Höhe der angenommenen Minuskorrektur bei geringen Leuchtdichten hat.So fand SCHOBER 1947 beim Übergang der Beobachtung von dunkleren zu helleren Feldern eine stärkere Verminderung der Nachtmyopie als nach dem Leuchtdichteabfall zu erwarten gewesen wäre.

Auch die Ermüdung bei zu lange dauernden Versuchen scheint die Höhe der Akkommodation zu beeinflussen.Das dürfte sich vor allem in einer größeren Streuung der Ergebnisse äußern.

b. Die Instrumenten- oder Apparatemyopie als mögliche Ursache der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten.

Beim Arbeiten mit Fernrohren,Periskopen und Entfernungsmessern beobachteten OGATA und WEYMOUTH 1918 und WIBAUT 1926 schon im Hellen bestehende Akkommodation,die sich in entsprechender Minuseinstellung der Oculare äußerte.ANDREANI und VOLPI 1961 führten am Goldmannadaptometer Vergleichsmessungen mit freiem und bewaffnetem Auge durch und fanden mit bewaffnetem Auge durchschnittlich - 1,o dptr höhere Minuskorrekturannahme. Ähnliche Hinweise finden sich auch bei anderen Autoren (HAMBURGER 1949,ROESSLER 195o,SCHOBER 1957/58,MÜTZE 1956 u.a.).

Am Fernrohr und anderen optischen Geräten liegen insofern besondere Verhältnisse vor,als man hier die Akkommodation durch Änderung der Refraktion des Gerätes sofort korrigieren kann.Das ist die Voraussetzung dafür,daß die Beobachter an solchen Geräten schon im Hellen akkommodieren können.Die stufenlos veränderliche Refraktion dieser Geräte begünstigt und ermöglicht,daß die Vpn. unbemerkt in eine akkommodative Ein-

ellung gleiten.Außerdem geht dabei jeder Scharfeinstellung
e kurze Zeit der Suche dieses Einstellungspunktes voran,
welcher dem Beobachter ein unscharfes Bild mit den bek ro-
enen Konsequenzen geboten wird.

Die Akkommodation im Hellen ist freilich ein den natür-
chen Verhältnissen nicht entsprechendes Kunstprodukt.Sie ist
inzipiell an eine korrigierende Optik gebunden.Es [illegible]
rten,daß mit nachlassender Sehschärfe bei absinken[illegible]
chte in Verbindung mit den diskutierten akkommodation[illegible]
nstigenden Faktoren am Instrument schließlich eine hohe
kommodation resultiert.

SCHOBER 1957/58 deutete die Minuskorrekturannahme am
rnrohr im Hellen als Einnahme der Akkommodationsruhelage.
ch SCHOBER's eigenen Versuchsergebnissen (Abb.1) nimmt
e Akkommodation mit abnehmender Leuchtdichte jedoch noch
sentlich zu.Das Auge akkommodiert also im Dunkeln über die
rmeintliche Ruhelage hinaus.Dadurch entsteht für die Hypo-
ese von der Akkommodationsruhelage von KÜHL 1944 aber ein
lösbarer Widerspruch.

Die beschriebenen Versuche zur Bestimmung der Akkommoda-
onsruhelage im Hellen (S.32) waren alle mit apparativem
fwand verbunden.Es liegt deshalb nahe,zumindest einen Teil
r gefundenen Minuseinstellungen als Instrumentenmyopie zu
uten.

Auf die Akkommodation bei Beobachtung mit optischen Ge-
ten können sich noch andere Faktoren begünstigend auswirken.
nn das optische System vergrößert,wird das Gefühl der Nähe
rmittelt.Die Neigung besonders Jüngerer,beim Ophthalmosko-
eren zu akkommodieren,ist ja eine bekannte Erscheinung.

Nach KATZ 1947 b könnte die mit der hyperopen Abbildungs-
t (= negative Oculareinstellung) am Fernrohr verbundene
ldverkleinerung von Vorteil für die Lichtsinnesleistung sein.
lerdings errechnet sich die Bildverkleinerung für ein von
m benutztes Fernrohr nur auf o,6 % pro dptr.Die zusätzlich
i Akkommodation durch zentrale Faktoren entstehende Bildver-
einerung kann sich aber wahrscheinlich nicht auf die Licht-
nnesleistung auswirken.

Daß andere Faktoren einer Versuchsanordnung zur Bestim-
ng der Nachtmyopiehöhe,wie binoculares oder monoculares

Beobachten, die Art der Ausschaltung des zweiten Auges, die Montage des optischen Gerätes und ganz besonders die Einstellmethode u.ä. auf die Höhe der Akkommodation Einfluß nehmen können, ist nach dem Gesagten naheliegend.

Der Einfluß der Untersucher auf die Höhe der gemessenen Nachtmyopie wird besonders aus den Ergebnissen der Nachtmyopiemessungen einer Reihe von Augenärzten am Mesoptometer deutlich, die wir in Abbildung 1c zeigen. Diese Ergebnisse zeigen sehr eindrucksvoll, wie trotz gleicher Methodik von verschiedenen Untersuchern ganz unterschiedliche Ergebnisse bei der Nachtmyopiemessung gewonnen werden können.

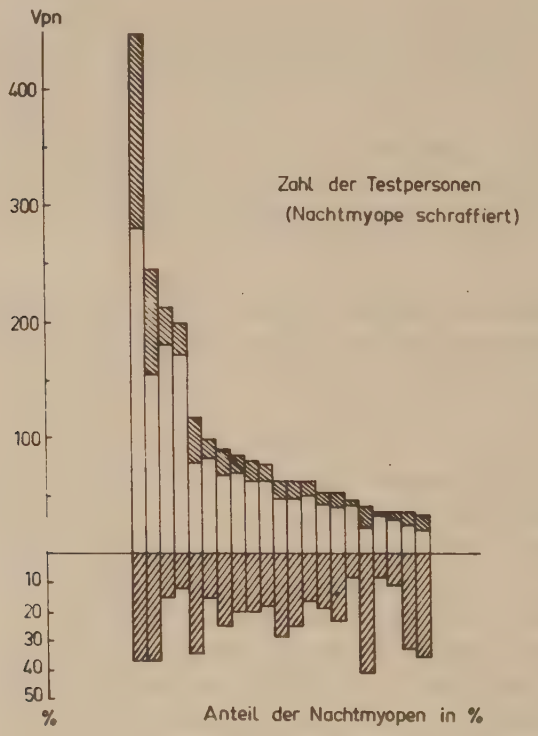

Abb.1o : Von 21 verschiedenen Untersuchern am Mesoptometer mit gleicher Untersuchungsmethode ermittelte Nachtmyopie - dargestellt ist die gefundene Häufigkeit der Nachtmyopie (Mindesthöhe der erfaßten Nachtmyopie -o,5 dptr, Umfeldleuchtdichte o,o32 asb), s.a. Tab.1.

Eigenschaften der Versuchspersonen, welche die Höhe der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten beeinflussen können.

Einige Autoren berichteten, daß die Nachtmyopie bei den esbyopen durchschnittlich deutlich geringer sei als bei den gendlichen. (u.a. SCHOBER 1947, KÜHL, zit.n. MÜTZE 1956, MATTHÄUS 65). Nach unserer Einschätzung der Rolle der Akkommodation i der Nachtmyopie überrascht das nicht. Die relativ geringe rozentzahl Nachtmyoper bei der Testung am Mesoptometer (Abb. 1o) t sicherlich durch den relativ hohen Altersdurchschnitt der tersuchten zu erklären. Nach SCHOBER 1947 und MATTHÄUS 1965 nnen aber auch bei Presbyopen in Einzelfällen höhere Nachtopien gefunden werden.

Weiterhin wäre ein gewisser Einfluß der vegetativen Konellation auf die Akkommodationsbereitschaft und damit auf e Höhe der Nachtmyopie möglich. Aber KRAUSE und KRAUSE-LIEBHER 1961 überschätzten den Einfluß des Vegetativums sicherch, wenn sie vermuteten, daß die Nachtmyopie durch den Tagchtrhythmus des Vegetativums oder durch zeitweilige Verderung der Umgebungsverhältnisse, z.B. "Aufenthalt in dunklen umen" bedingt sei.

Es wurde auch angenommen, daß die Refraktionsanomalien nfluß auf die Höhe der Nachtmyopie hätten. CARRERAS und MATAS 51 fanden aber zwischen Myopen, Emmetropen und Hyperopen keine terschiede der Nachtmyopiehöhe. SCHOBER 1957/58 vermutete, ß die leichte physiologische Hyperopie die Nachtmyopie oft rschleiert. Für endgültige Aussagen darüber ist es aber nötig, e Hellrefraktion bei der Ermittlung der Nachtmyopiehöhe ter Homatropin, wenn nicht sogar unter Atropin zu bestimmen, latente Hyperopie sicher aufzudecken.

Ob die Exophorie durch Koppelung der Konvergenz mit der kommodation die Nachtmyopie fördert, wurde unseres Wissens sher nicht untersucht, es wäre immerhin möglich. Auch monolar bleibt die akkommodative Einstellung der Vpn. mit Exorie erfahrungsgemäß beeinflußt.

Weiterhin soll die Übung der Testpersonen im Nachtsehen e Höhe der Nachtmyopie beeinflussen. Die Angaben darüber wirsprechen sich aber. Einigkeit besteht nur über die größere

Unsicherheit bei der Korrekturwahl der Ungeübten im Dunkeln. KATZ 1949 und HAMBURGER 1949 fanden bei den ungeübten Nachtbeobachtern größere Neigung zur Akkommodation und damit zur Nachtmyopie. Bei Personen mit hoher Nachtsehschärfe fand HAMBURGER kaum Nachtmyopie. Das würde unseren Erwartungen ja auch entsprechen. SCHOBER fand dagegen bei den im Nachtbeobachten Geübten regelmäßig Nachtmyopie. Das ließe sich eher mit einer Verbesserung der Sehschärfe nach Korrektur der Nachtmyopie vereinbaren. (IVANOFF 1946, SCHOBER 1947) und gilt vielleicht nur bei der Benutzung von Fernrohren o.ä.

3. Kurze Zusammenfassung der erarbeiteten Vorstellungen von von der Rolle der Akkommodation beim Zustandekommen der Nachtmyopie.

Wir wollen die erarbeiteten Vorstellungen über die Rolle der Akkommodation beim Zustandekommen der Nachtmyopie noch einmal kurz zusammenfassen:

-- Der Teil der Nachtmyopie, der etwa - o,5 dptr (bis - o,7 dptr je nach Art der Bestimmung der Hellrefraktion) durchschnittlich übersteigt, ist durch Akkommodation bedingt.

-- Die Akkommodation wird bei geringen Leuchtdichten von den einzelnen Untersuchern bei unterschiedlichen Untersuchungsmethoden, für verschiedene Versuchspersonen bei einer Untersuchungsmethode und u.U. bei der Einzelperson selbst sehr unterschiedlich hoch gefunden.

-- Die Deutung der Akkommodation als zweckmäßigen Vorgang zur Besserung der Sehleistung bei geringen Leuchtdichten etwa nach den Vorstellungen IVANOFF's (Kompensation der sphärischen Aberration durch Akkommodation) und folgendem Ausgleich der Fehleinstellung des Auges durch entsprechende Minuskorrekturen oder im Sinne der SCHOBER'schen Hypothese (Besserung des Lichtsinnes bei myopischer Abbildung bzw. des Auflösungsvermögens nach Korrektur der Nachtmyopie) sind bisher nicht bewiesen. Gegen die Gültigkeit dieser Hypothesen bestehen darüber hinaus erhebliche Bedenken.

-- Ein erzwungenes Einschwenken der Akkommodation in eine festgelegte und stabile Ruhelage beim Fehlen ausreichender Akkommodationsreize im Sinne KÜHL's - also auch bei geringen

euchtdichten - ist aus verschiedenen Gründen nicht sehr
ahrscheinlich.
-- Vielmehr vermuten wir, daß die Höhe der Akkommodation bei
eringen Leuchtdichten wesentlich von der Methode zu ihrer Er-
ittlung abhängig ist, die bei subjektivem Unschärfen finden
ndividuell unterschiedlich hohe Akkommodation bewirkt und
arüber hinaus möglicherweise zum Teil vom Vorhandensein einer
orrigierenden Optik abhängig ist.

Nach dieser Diskussion der Ursachen der Nachtmyopie muß
ach dem jetzigen Wissensstand die für die Praxis so wichtige
rage nach der Zweckmäßigkeit einer besonderen Nacht- oder
ämmerungsbrille offen bleiben. Diese Unsicherheit ist vor allem
urch die mangelhafte Kenntnis des Verhaltens der Akkommodation
eim Sehen bei geringen Leuchtdichten bedingt.
Meine im Zweiten Teil dieser Arbeit beschriebenen Unter-
uchungen sollen zur Klärung der offenen Fragen beitragen.

Z w e i t e r T e i l

Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten.

I. Aufgabenstellung

Bei der einzigen, uns bekannten Nachtmyopiekurve, welche die Abhängigkeit der Nachtmyopiehöhe von der Leuchtdichte als Ergebnis einer größeren Untersuchungsreihe angibt (SCHOBER, Abb.1) geht allein schon aus der erheblichen Minuskorrekturannahme im Hellen hervor, daß sie die physiologischen Verhältnisse nicht wiedergibt, da im Hellen beim unbeeinflußten Blick in die Ferne auch Fernpunktseinstellung der Akkommodation besteht.

Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Nachtmyopiehöhe von der Leuchtdichte, wie sie unter physiologischen Bedingungen, d.h. beim freien, unbeeinflußten Sehen besteht, ist eigentlich eine Versuchsanordnung nötig, mit der man die Nachtmyopiehöhe ohne Beeinflussung der Akkommodation des Probanden beim freien Sehen laufend registrieren kann, da der akkommodativ bedingte Teil der Akkommodation wahrscheinlich nicht konstant ist. Eine Vorrichtung, die dies gestattet, war aber für unsere Versuche nicht verfügbar. Deshalb konnte bei unseren Versuchen eine die Akkommodation vielleicht beeinflussende oder sogar erst ermöglichende Optik nicht vermieden werden.

Traf aber unsere im ersten Teil dieser Arbeit gewonnene Vorstellung zu, wonach die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten im wesentlichen Folge akkommodationsprovozierender Versuchsumstände ist, so mußte sich auch mit den verfügbaren Mitteln experimentell zeigen lassen, daß sich die Nachtmyopie bei Vermeidung aller die Akkommodation fördernden Faktoren auf ein Mindestmaß reduzieren läßt.

Die Hypothesen von einer festgelegten akkommodativen Einstellung des Auges bei geringen Leuchtdichten etwa im Sinne

ÜHL's wären bei Bestätigung unserer Vermutungen widerlegt
nd die unterschiedlichen Ergebnisse der Nachtmyopiemessungen
er verschiedenen Autoren erklärt.

Wir stellten uns für unsere Untersuchungen folgende Auf-
aben:

-- Es sollte die Beziehung zwischen Nachtmyopiehöhe und
euchtdichte mit einer Methode bestimmt werden, bei welcher
lle Faktoren, die bei geringen Leuchtdichten in unnatürlicher
eise Akkommodation bewirken können, zu vermeiden waren. Die
afür im Einzelnen wichtigen Faktoren haben wir im ersten Teil
ieser Arbeit ausführlich besprochen (s.S.37 ff.). Wenn bei
nserer Versuchsmethode im Hellen keine Minuskorrekturen an-
enommen wurden, so konnten wir damit rechnen, daß zumindest
in großer Teil dieser Faktoren ausgeschaltet war.

-- Es sollte die Höhe des durch Akkommodation bedingten Teils
er Nachtmyopie bei unserer Untersuchungsmethode bestimmt wer-
en. Wir wollten dabei so vorgehen, daß wir zunächst die Höhe
es unabhängig von Akkommodation entstehenden Teils der Nacht-
yopie unter Wirkung von Homatropin bzw. Atropin ermittelten.
ach Abklingen der Wirkung dieser Pharmaka sollte dann die
esamthöhe der Nachtmyopie gemessen werden. Aus der Differenz
eider Werte errechnete sich schließlich die Höhe der Akkommo-
ation bei unserer Methode.

-- Es sollte die Konstanz der Nachtmyopiehöhe oder die der
kkommodation bei unterschiedlichen Leuchtdichten über verschie-
ene Zeiträume mit der vorher benutzten Versuchsanordnung ge-
estet werden.

-- Es sollte die Höhe der Nachtmyopie nach gezielter Provo-
ation der Akkommodation bestimmt werden, um die Bedeutung
kkommodationsbegünstigender Versuchsumstände für die Nacht-
yopiehöhe direkt zu beweisen.

-- Durch entsprechende Aufschlüsselung der Ergebnisse unserer
ntersuchungen wollten wir den Einfluß des Alters und der Re-
raktionsanomalien auf die Höhe der Nachtmyopie prüfen.

Da die Streuung und Unsicherheit der Ergebnisse aus Ver-
uchen bei geringen Leuchtdichten erfahrungsgemäß recht groß
st, mußten wir, um signifikante Resultate zu erzielen, eine
größere Anzahl von Versuchspersonen viele Male testen. Daraus
rgab sich die Notwendigkeit einer einfach zu handhabenden,
rotzdem aber zuverlässig arbeitenden Untersuchungsmethode.

II. Methodik

In einer Versuchsanordnung zur Bestimmung der Abhängigkeit der Nachtmyopiehöhe von der Leuchtdichte haben folgende Punkte entscheidende Bedeutung:

A. Die optischen Hilfsmittel und deren Anwendung zur Ermittlung der Nachtmyopiehöhe
B. Die Eigenschaften des Testbildes und die Art der getesteten Sehfunktion
C. Die verwendeten Lichtquellen und Leuchtdichtestufen
D. Die Auswahl der Versuchspersonen und die Bestimmung ihrer Hell-oder Bezugsrefraktion.

A. Die optischen Hilfsmittel und deren Anwendung zur Ermittlung der Nachtmyopiehöhe.

1. Die zur Refraktionsermittlung verwendeten optischen Hilfsmittel.

Zur Ermittlung der Refraktion bei verschiedenen Leuchtdichten boten sich zwei prinzipiell zu unterscheidende Arten optischer Hilfsmittel an:
Einmal konnte man den Versuchspersonen (Vpn.) etwa in Form einfacher Brillengläser probeweise nacheinander verschieden starke optische Korrekturen anbieten und nach Vergleich die optimale Korrektur durch die Vpn. auswählen lassen.Das entsprach den gängigen Methoden der Brillenbestimmung.Die Stärke der angebotenen Korrekturen wurde dabei stufenweise geändert.

Zum anderen konnte man die jeweilige Optimalkorrektur auch mit einem die Refraktion stufenlos änderndem optischen System einstellen lassen,etwa mit einem Fernrohr mit veränderlichem Ocular - Objektivabstand,o.ä.

Beide Prinzipien boten für unsere Erfordernisse Vor - und Nachteile:

Bei Verwendung von Probegläsern abgestufter Brechkraft waren sicher Ergebnisse zu erwarten,welche die beim freien Sehen vorliegenden Verhältnisse am ehesten wiedergaben.Denn dabei war kein apparativer Aufwand erforderlich,wodurch In-

[i]nstrumentenmyopie vermieden war.Die Augenpupille wurde voll
[a]usgenutzt,Gesichts- und Blickfeld nur geringfügig eingeschränkt.
[A]ußerdem konnte man damit zum Vergleich des Bildeindruckes
[di]e gewünschte Korrektur sehr rasch und über englos vor [illegible]
[v]orschalten und wieder entziehen.Das hatte den Vorteil,daß das
[E]inschleichen von Akkommodation,wie es bei der gleitenden
[K]orrekturänderung am Fernrohr möglich ist,verhindert wurde.
[A]ußerdem zeigte uns die spontane Annahme der betreffenden
[K]orrektur bei schnellem Vorschalten des Glases,daß die gefun-
[d]ene akkommodative Einstellung des Auges zu diesem Zeitpunkt
[s]chon vorhanden gewesen sein mußte und nicht erst danach ein-
[g]enommen wurde.

Der entscheidende Nachteil der Probegläser bestand darin,
[d]aß relativ grobe Refraktionsstufen gewählt werden mußten,um
[b]ei geringen Leuchtdichten eine sichere Unterscheidung der
[Q]ualität der Bildeindrücke zu gewährleisten.Da die Streuung
[d]er Untersuchungsergebnisse bei geringen Leuchtdichten sowieso
[s]chon recht groß ist,waren die mit dieser Methode gefundenen
[E]rgebnisse relativ unsicher.

Dieser Nachteil entfiel bei einer die Refraktion stufen-
[l]os ändernden Optik,am einfachsten eines Fernrohres.

Mit einem Fernrohr waren auch bei geringen Leuchtdichten
[f]eine Einstellungen bei einfacher Handhabung des Gerätes mög-
[l]ich.Die eventuellen Nachteile eines Fernrohres sind schon
[b]esprochen worden:Der apparative Aufbau,die u.U. vorhandene
[B]ildvergrößerung,die Phase der Unschärfe vor der endgültigen
[S]charfeinstellung und die kontinuierlich verstellbare Optik
[k]onnten die Akkommodation möglicherweise in unphysiologischer
[W]eise fördern.

Durch bestimmte Maßnahmen gelang es aber,diese akkommo-
[d]ationsfördernden Einflüsse zumindest soweit zu verhindern,daß
[i]m Hellen keine Minuskorrekturen angenommen wurden.Die Verwen-
[d]ung eines Fernrohres zur Ermittlung der Nachtmyopiehöhe erschien
[u]ns deshalb am vorteilhaftesten.Zum Vergleich bestimmten wir
[b]ei einem großen Teil der Vpn. die Nachtmyopiehöhe aber zu-
[s]ätzlich mit Probegläsern.

Ein Fernrohr konnte monocular oder binocular verwendet
[w]erden.Aus folgenden Gründen schien uns ein monoculares Fern-
[r]ohr am günstigsten zu sein:Am binocularen Fernrohr entstehen

Schwierigkeiten, wenn die Nachtmyopiehöhe an den beiden Augen verschieden sein sollte. Die Instillation von Homatropin oder gar Atropin in beide Augen war für die Vpn. nur in den seltensten Fällen zumutbar, und schließlich untersuchten andere Autoren auch monocular, sodaß wir unsere monocular gewonnenen Ergebnisse besser mit denen anderer Autoren vergleichen konnten.

Wir testeten immer das führende Auge, das wir mit dem Test nach MILES ermittelten.

Möglicherweise war es bei der monocularen Betrachtungsweise nicht gleichgültig, wie das zweite Auge ausgeschaltet wurde. Befanden sich das abgedeckte und das getestete Auge bei der Untersuchung in verschiedenen Adaptationszuständen, war eine Beeinflussung der Akkommodation des getesteten Auges nicht auszuschließen. Deswegen ließen wir das auszuschaltende Auge offen und verhinderten Konturensehen durch ein mattiertes Plexiglas.

Die meisten der üblicherweise verwendeten Fernrohre vergrößern das Bild. Aus theoretischen Erwägungen erschien uns eine Förderung der Akkommodation bei Wahrnehmung vergrößerter Bilder durch zentrale Faktoren denkbar. In den Vorversuchen bemühten wir uns deshalb, die für unsere Zwecke günstigste Vergrößerung zu ermitteln.

Die Vergrößerung eines astronomischen Fernrohres ist vom Verhältnis der Brennweiten von Objektiv zu Ocular abhängig. Wir benutzten in den Vorversuchen vier verschiedene Verhältnisse:

		Vergrößerungsfaktor
$f_{obj.} : f_{oc.}$	= 30 : 5 cm	6x
	= 15 : 5 cm	3x
	= 5 : 5 cm	1x
	= 1,7 : 5 cm	1/3x .

Bei Verwendung der 6x - Vergrößerung wurde im Durchschnitt gegenüber der 1x - "Vergrößerung" nach Testung von 56 Vpn. bei 1oo asb Leuchtdichte eine um - o,11 dptr und bei o,o1 asb eine um - o,o8 dptr höhere Minuskorrektur angenommen. Auch bei Vergleich der Ergebnisse bei anderen Vergrößerungen ergaben sich keine größeren Differenzen. Die Vergrößerung des Systems hatte auf die Höhe der Nachtmyopie also höchstens geringen Einfluß. Da die 1x =“Bildvergrößerung" die natürlichsten Verhältnisse schuf und damit außerdem die genauesten Einstellungen zu ge-

winnen waren, entschieden wir uns für sie.

Wir verwendeten ein astronomisches Fernrohr, monocularer Bauweise mit den folgenden Merkmalen:

Objektivdurchmesser: 3o mm , $f_{obj.}$ = 5o mm

Oculardurchmesser : 14 mm , $f_{oc.}$ = 5o mm .

Daraus folgte die Vergrößerung

$$f_{obj.} : f_{oc.} = 1 : 1 .$$

Das Objektiv unseres Fernrohres war gegenüber dem Ocular in seiner Lage verschieblich angeordnet. Der Abstand zwischen Auge und Ocular betrug 5 cm und blieb konstant, wobei der Kopf des Beobachters durch eine in der Höhe verstellbare Kinnstütze fixiert wurde. Ein teilweise bei den untersuchten Augen vorhandener Astigmatismus wurde durch vorgeschaltete Zylindergläser ausgeglichen, sphärische Refraktionsfehler blieben beim Versuch unbeachtet, das Ergebnis wurde später um den entsprechenden Betrag korrigiert.

In den Strahlengang wurden zwei Blenden geschaltet. Blende I begrenzte das sichtbare Bild, sie befand sich in der Nähe des vorderen Ocularbrennpunktes, wegen diesen jedoch geringfügig verschoben, damit Einzelheiten des Blendenrandes unsichtbar blieben. Blende II wurde zwischen Auge und Ocular angeordnet, von letzterem 3 cm entfernt. Beide Blenden hatten 8 mm Durchmesser.

Aus den gegebenen Daten errechnet sich die Größe der Eintrittspupille mit 3o mm, die der Austrittspupille mit 8 mm. Die Pupillenweite des Auges konnte also fast voll zur Wirkung kommen.

Das Verhältnis der Verschiebungsstrecke des Objektivs zum Ausmaß der Refraktionsänderung errechnete sich auf folgende Weise (GEIGER und SCHEEL 1927):

War Δ = Verschiebung des Objektivs gegenüber dem Ocular in mm, z = Refraktiosänderung des Systems in dptr und f = Ocularbrennweite in mm, so galt

$$z = 1000\Delta : f^2$$

war f = 5o mm, so war

$$z = 1000\Delta : 2500$$
$$= \Delta : 2,5 .$$

Das heißt : Eine Verschiebung des Objektivs gegenüber dem Ocular um 2,5 mm bewirkte eine Refraktionsänderung des Systems um 1,o dptr. Das Verhältnis war stets linear. Die kleinstmög-

liche Ableseeinheit betrug o,2 dptr,entsprechend o,5 mm Objektivverschiebung.Der Nullpunkt der Skala entsprach dem telezentrischen Strahlengang.

Bei den Vergleichsmessungen mit Probegläsern verwendeten wir binoculare Stielbrillen.Die binoculare Beobachtungsweise empfahl sich hier eher als am Fernrohr,weil Refraktionsfehler der Augen vor den Untersuchungen voll auskorrigiert werden konnten.Die Korrekturwahl erschien binocular sicherer als monocular.Bei geringen Leuchtdichten erwiesen sich Abstufungen der Gläserstärken um o,5 dptr als kleinste sinnvoll verwendbare.Bei feineren Abstufungen konnte gewöhnlich keine sichere Änderung des Bildeindruckes empfunden werden.

2. Die Einstellung der Fernrohrrefraktion

Nach unseren Ausführungen im ersten Teil dieser Arbeit mußten wir mit der Möglichkeit rechnen,daß die Methode der Einstellung des optischen Gerätes bei der Bestimmung der Nachtmyopie Einfluß auf die Höhe der Akkommodation haben konnte.Bei der Verwendung eines Fernrohres schienen uns in dieser Hinsicht zwei Fragen von Bedeutung zu sein:Soll das Fernrohr vom Untersucher oder von der Testperson eingestellt werden?Wie soll der Einstellende dabei vorgehen?

Andere Autoren entschieden sich in der ersten Frage unterschiedlich.So ließ SCHOBER 1947 durch den Untersucher und HAMBURGER 1949 durch die Testperson einstellen.Gegen das letzte Verfahren sprach bei unseren Versuchen,daß unsere Testpersonen sehr unterschiedliche Geschicklichkeit zeigten.Oft konnten sie sich in dem Bemühen,exakt zu sein,nur schwer für eine Einstellung entscheiden und begannen,das Objektiv hin und her zu schieben.Außerdem schien uns psychologisch bedingte Akkommodation bei diesem Verfahren begünstigt zu sein.

Die Einstellung des Fernrohres durch einen geübten Untersucher schuf dagegen,sofern der Untersucher nicht gewechselt wurde,immer gleichartige Voraussetzungen.Einige Übungseinstellungen nach gründlicher Anleitung der Testperson vor den eigentlich verwerteten Einstellungen,in denen der Prüfling lernte,den richtigen Moment abzupassen,befähigten ihn dann zu regelmäßigen Resultaten.Deshalb ließen wir bei unseren Untersuchungen den Untersucher einstellen.

Der Einstellende konnte nun verschieden vorgehen.Er konnte das Objektiv

-- durch regelloses Hin- und Herschieben dem endgültigen Einstellungsort nähern,
-- durch gleichmäßige Verschiebung bis zum endgültigen Einstellungsort dem Ocular von der "hyperopen Seite" des Systems her nähern,
-- dem Ocular gleichmäßig von der "myopen Seite" des Systems her nähern.

Da entgegen der Ansicht von PALACIOS 1943 bei jugendlichen Vpn. die Akkommodationsbreite bei geringen Leuchtdichten nicht gleich null wurde,konnte ein optimales Netzhautbild über eine gewisse Einstellstrecke hinweg erhalten bleiben. Näherte der Einstellende das Objektiv dem endgültigen Einstellungspunkt von der "myopen Seite" des Systems her,wurde deutlich Akkommodation provoziert.Stellte man das Objektiv durch regelloses Hin- und Herschieben ein,waren die Verhältnisse gar nicht mehr zu übersehen.Die regelmäßige Näherung des Objektivs zum Einstellungsort von der "hyperopen Seite" des Systems her,erschien uns am günstigsten.

Diese Methode gleicht der Refraktionsermittlung bei der Brillenbestimmung,bei der die Minuskorrektur ja auch langsam erhöht wird.Hier käme niemand auf die Idee,durch wechselweises Vorschalten mehr oder weniger starker Plus- oder Minusgläser die Refaktion zu ermitteln.

Daß diese Gedanken zu recht bestehen,konnten wir in einer Vorversuchsreihe mit 15 Testpersonen bestätigen.Dazu ließen wir ein Testbild jeweils bei 1oo und o,o1asb Umfeldleuchtdichte mit dem Fernrohr scharf einstellen .Bei drei verschiedenen Einstellmethoden erhielten wir folgende Resultate:

a. Der Untersucher näherte das Objektiv von der "hyperopen Seite" des Systems her gleichmäßig dem endgültigen Einstellungsort:
   durchschnittliche Einstellung:
   bei 1oo asb - o,23 dptr, bei o,o1 asb -1,1dptr.
b. Wie Methode a. ,nur die Testperson stellte selbst ein:
   durchschnittliche Einstellung:
   bei 1oo asb - o,35 dptr,bei o,o1asb - 1,1 dptr
c. Die Testperson stellte das Objektiv durch regelloses

Hin- und Herschieben ein:

durchschnittliche Einstellung:

bei 1oo asb - o,7 dptr, bei o,o1 asb - 1,2 dptr.

Wir entschieden uns für die Einstellung durch den Untersucher, der das Objektiv dem endgültigen Einstellungspunkt gleichmäßig, von der "hyperopen Seite" des Systems herkommend, näherte. Im ersten Moment, in welchem dem Untersuchten das Bild scharf erschien, gab er ein Zeichen.

In den Vorversuchen erwies sich folgendes Verfahren als durchführbar: Der Versuch galt, wenn bei fünf hintereinander folgenden Einstellungen keine größeren Abweichungen als insgesamt zwei Teilstriche vorkamen. Als Ergebnis wurde der Mittelwert der Einstellungen, ausgedrückt in ganzen Teilstrichen, angenommen. Der Versuch zählte jedoch nur, wenn dieser Mittelwert selbst mindestens zwei mal eingestellt wurde. Andernfalls wurde der Versuch wiederholt, bis die Bedingungen erfüllt waren. Vpn., welche diese Bedingungen bei den Leuchtdichten 1oo bis o,o1 asb nicht erfüllen konnten, schieden für den Gesamtversuch aus. Vpn., die nur bei o,oo1 asb Leuchtdichte versagten, wurden lediglich bei den Einstellungen dieser Leuchtdichtestufe nicht berücksichtigt, während ihre Ergebnisse bei den anderen Leuchtdichten gezählt wurden.

Bei der Untersuchung mit Probegläsern erwies sich ein Vorgehen, wie es bei der Brillenbestimmung allgemein üblich ist, als am geeignetsten. Dabei wurde die Stärke der Minusgläser stufenweise langsam bis zu dem Wert erhöht, bei dem eine weitere Verstärkung der Gläser keine wesentliche Besserung mehr brachte. Es war dabei vorteilhaft, wenn sich der Untersuchte die Gläser selbst vorhielt.

Die Testpersonen wurden instruiert, das Zentralskotom bei geringen Leuchtdichten durch Vorbeisehen zu meiden.

B. Die getestete Sehfunktion und die Eigenschaften des Testbildes.

1. Die getestete Sehfunktion

Man kann die Refraktion bei geringen Leuchtdichten mit Hilfe der Messung maximalen Auflösungsvermögens oder größter

LUE bestimmen, oder man läßt die Vpn. die Refraktion einstellen, bei der ganz allgemein der "beste", "gestochenste", "kontrastreichste" Bildeindruck besteht.

Da unsere Versuche, die Höhe der Nachtmyopie mit Hilfe der Sehschärfe zu bestimmen, an der großen Unsicherheit der Angaben scheiterten, beschränkten wir uns darauf, die Refraktion zu finden, bei welcher die Testpersonen einen optimalen Bildeindruck im oben beschriebenen Sinne gewannen.

2. Die Eigenschaften des Testbildes

Wir hatten die Wahl, die Untersuchungen im Freien oder in einem geschlossenen Raum mit einem Testbild vorzunehmen.

Für die Einstellungen konnten im Freien die verschiedenten natürlichen Bildobjekte als Testbilder dienen, wie etwa der Horizont, Waldränder der Himmel usw. Dem Vorteil natürlicher Bedingungen standen aber verschiedene Nachteile gegenüber: Bei Beobachtung im Freien wechselt das Testbild dauernd, es war keine konstante Leuchtdichte zu produzieren, die spektrale Zusammensetzung der von den Bildobjekten ausgehenden Lichtstrahlen und die spektrale Zusammensetzung des Nachtlichtes änderten sich dauernd, die Objekte waren unterschiedlich und wenig klar gegliedert, die Kontraste unbestimmt, die Adaptation wechselte in nicht kontrollierbarer Weise. Versuche im Freien waren daher nur bedingt reproduzierbar, die gewonnenen Ergebnisse schlecht vergleichbar.

Bei Verwendung eines Testbildes im Untersuchungsraum konnte man zwar natürliche Bedingungen nur teilweise nachahmen. Dafür entfielen aber die meisten Nachteile der Untersuchung im Freien. So konnten wir im Untersuchungsraum ein konstantes Testbild, gleichbleibende Leuchtdichten und Licht definierter spektraler Zusammensetzung benutzen. Es bestand die Möglichkeit, ein klar gegliedertes, optimal erkennbares Testbild mit hohen Kontrasten anzubieten.

Wir verwendeten wegen der Bildumkehrung im Keplerfernrohr ein auf den Kopf gestelltes, quadratisches, schwarz - weißes Testbild mit 1,35 m Kantenlänge, das in 9 m Entfernung angebracht wurde. Unter diesen Verhältnissen war der sichtbare Bildausschnitt des Fernrohres (ca. 10^{o}) durch das Testbild

vollständig ausgefüllt.

Bei scharfer Abbildung eines 9 m entfernten Testbildes bestand zwar keine Fernpunktseinstellung des Auges, da aber bei der Bestimmung der Bezugsrefraktion ebenfalls in endlicher Entfernung angebrachte Bildtafeln verwendet wurden, war dieser Fehler zum größten Teil ausgeglichen.

In Abb.11 haben wir unser Testbild dargestellt. Es stellt die Konturen eines Fensters mit darin sichtbarer menschlicher Gestalt, die eine Zeitung hält, in natürlicher Größe dar. Um gleichmäßige Leuchtdichteverhältnisse zu schaffen, wurden weiße Flächen mit gut erkennbaren Gegenständen, meist bekannter Größe (Kugelschreiber, Zange, Zeitung) ausgefüllt. Die Verwendung bekannter Bildobjekte geschah in der Absicht, bei den Vpn. eine richtige Entfernungsvorstellung zu bewirken. Die Konturen wurden, soweit es sich nicht um natürliche Gegenstände handelte,

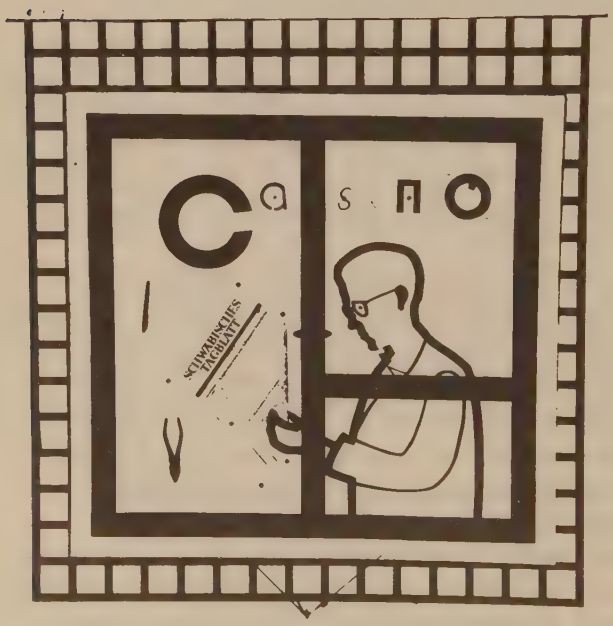

Abb.11 : Das bei unseren Versuchen verwendete Testbild

aus schwarzer, nicht glänzender Pappe gefertigt und auf weißen Grund aufgeklebt. Die für unsere Untersuchungen günstigsten Konturenstärken wurden in Vorversuchen ermittelt, sie lagen zwischen 60 mm und Zeitungsdruckgröße.

C. Die verwendeten Lichtquellen und Leuchtdichtestufen

Das Testbild wurde mit einem netzstromgespeisten Projektor gleichmäßig ausgeleuchtet, der wenig seitlich vom Beobachter, für diesen unsichtbar, in 7 m Entfernung vom Testbild aufgestellt war. Als Lichtquelle diente eine Osramprojektionsbirne von 500 W / 220 V, ein Temperaturstrahler von knapp 3000°.

Die Ausgangsleuchtdichte wurde durch einen vorgeschalteten Widerstand eingeregelt, die einzelnen Leuchtdichtestufen mittels Graufilter hergestellt. Durch eine Blende im Projektor grenzten wir die ausgeleuchtete Fläche des Testbildes scharf so ein, daß sie nur wenig größer als das fernrichtungsgesichtsfeld war. Die Leuchtdichte wurde mit dem Leuchtdichtemesser nach LACHSTEIN, Fa. Schmidt & Haensch kontrolliert.

So hohe Leuchtdichten wie an sonnenhellen Tagen im Freien sind im Untersuchungsraum bei gleichmäßiger Ausleuchtung nur schwer zu erreichen. Wir beschränkten uns daher auf die folgenden Leuchtdichtestufen, mit denen der Bereich des photopischen, mesopischen und skotopischen Sehens erfaßt wurde:

100 asb; 0,1 asb; 0,035 asb; 0,01 asb; 0,001 asb.

Die Leuchtdichtestufe 0,035 asb wurde erst im Laufe der Untersuchungen in das Programm aufgenommen, da der Übergangsbereich zwischen dem mesopischen und skotopischen Sehen besonders interessant erschien. Bei der Leuchtdichte 0,001 asb konnte nur noch ein Teil der Vpn. sichere Angaben machen.

Die Messungen begannen bei der Leuchtdichte 100 asb. Nach einer Adaptationszeit von 3 min. begannen wir mit den Übungseinstellungen, nach 6 bis 8 min. mit den geltenden Einstellungen. In der angegebenen Reihenfolge wurde jeweils auf die nächst niedere Leuchtdichtestufe übergegangen, bei der nach 3 min. wieder mit den Übungseinstellungen begonnen wurde.

D. Die Auswahl der Versuchspersonen und die Bestimmung ihrer Hell- oder Bezugsrefraktion.

Zahl und Alter der auf Nachtmyopie getesteten Versuchspersonen verteilte sich wie folgt:

1	Vpn.	12	Jahre	
2	"	13	"	
2	"	15	"	
8	"	17 - 19	"	118 jugendliche Vpn.
95	"	2o - 29	"	
1o	"	3o - 36	"	
1	"	44	"	
8	"	5o - 6o	"	13 presbyope + 1 aphake Vpn.
6	"	über 6o	"	
133	Vpn.	= Gesamtzahl der Untersuchten.		

Tab. 2

Die jugendlichen Vpn. waren zum größten Teil Studenten, zum kleineren Teil sonstige Patienten der Poliklinik der Universitäts - Augenklinik - Tübingen. Alle verfügten wenigstens einseitig über vollen Visus und hatten an den getesteten Augen außer ausgleichbaren Refraktionsfehlern keine krankhaften Veränderungen.

Bei allen Vpn. wurde die Refraktion durch Vorsetzen von Probegläsern nach der üblichen Art der Brillenbestimmung ohne pharmakologische Beeinflussung ermittelt. Dabei wurde der Idem-Visus nach SCHOBER verwendet. Über die dabei bestehenden Pupillenweiten und die damit verbundenen Probleme bezüglich sphärischer Aberration ist im ersten Teil der Arbeit ausführlich gesprochen worden. (s.S.14).

Bei 57 jugendlichen Vpn. wurde die Refraktion zusätzlich nach Instillation von Homatropin 1%ig, 6 x 1 Tr. im Abstand von 1o min. (5o Vpn.) oder Atropin 1%ig, 3 x tgl. je einen Tr. über drei Tage (7 Vpn., davon 4 Hyperope) skiaskopisch ermittelt. Die Gesamtzahl der unter Atropinwirkung untersuchten Probanden erhöht sich durch vier weitere Vpn. auf 11.

Die jugendlichen Vpn. teilten sich folgendermaßen auf:

Gruppe	Art der Refraktionierung	
	a. nur mit Probegläsern am unbeeinflußten Auge	b. skiaskopisch nach Instillation von Cycloplegica + wie unter a.
Myope	67 Vpn.	36 Vpn.	31 Vpn.
Hyperope	2 Vpn.	9 Vpn.	20 Vpn.
Emmetrope	22 Vpn.	16 Vpn.	6 Vpn.
Zus.	118 Vpn.	61 Vpn.	57 Vpn.

Tab.3

E. Weitere Untersuchungen

Zur Bestimmung der Konstanz der Nachtmyopiehöhe über verschiedene Zeiträume untersuchten wir 2 Vpn. am Fernrohr täglich 11 Tage, jeweils morgens und abends und außerdem je einmal 3 Stunden im Abstand von 2o min., insgesamt 1o mal.

Bei der letzten Untersuchungsreihe wurde die Nachtmyopie zusätzlich nach vorhergehender Akkommodation von 4 dptr. getestet, um den Einfluß der Untersuchungsmethode auf die Höhe der Nachtmyopie zu verdeutlichen.

III. Darstellung und Auswertung der Versuchsergebnisse

A. Nachtmyopiemessungen jugendlicher Versuchspersonen am Fernrohr.

Abb.12 zeigt die Refraktion von den 118 jugendlichen Vpn. am Fernrohr in Abhängigkeit von der Leuchtdichte. Die Originaleinstellungswerte sind darin bereits um den Refraktionsfehler der getesteten Augen, wie er am unbeeinflußten Auge mit Probe-

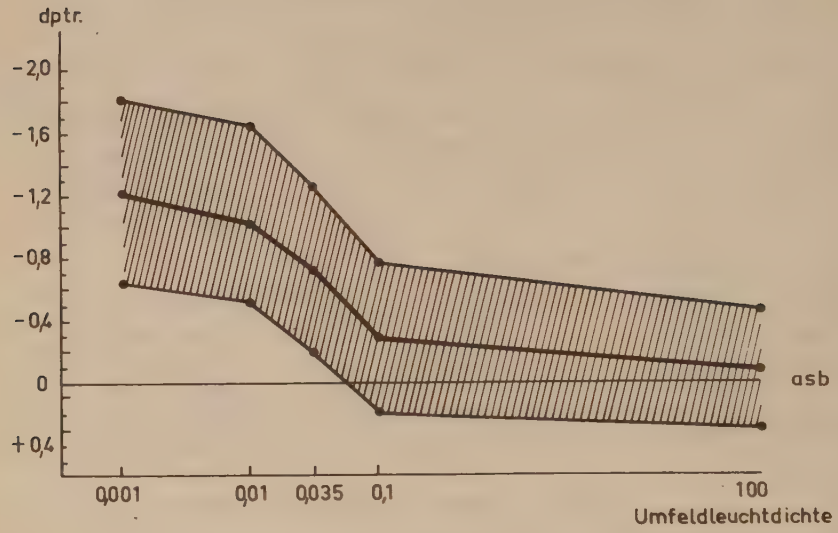

Abb.12 : Mittlere Kurve - durchschnittliche Fernrohreinstellungen von 118 jugendlichen Vpn. bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten, schraff.: Standardabweichung der Einzelwerte. S. Text.
Koordinaten: Absz.: Umfeldleuchtdichte in asb, Ord.: eingestellte Fernrohrkorrektur in dptr.

gläsern ermittelt wurde, korrigiert.

Auf der Abszisse sind die verwendeten Leuchtdichtestufen in asb eingetragen, die Ordinate stellt die Höhe der ermittelten Korrektur in dptr. dar. Die mittlere, stark ausgezogene Kurve bezeichnet die durchschnittliche Refraktion der Vpn. bei den verschiedenen Leuchtdichtestufen, das schraffierte Feld die Standardabweichung der Einzelwerte.

Leider konnten bei der Berechnung der Durchschnittswerte und Standardabweichungen aus den schon genannten Gründen nicht immer die Ergebnisse einer gleichen Anzahl von Vpn. bei den einzelnen Leuchtdichtestufen verwandt werden. Deshalb geben wir in Tab.4 die zur Abb.12 gehörenden Zahlenwerte, ergänzt um die jeweiligen Standardabweichungen des Mittelwertes an.

asb	x_n	$\bar{x}$	s	$s_{\bar{x}}$
1oo	118	-o,o67 dptr.	±o,381 dptr.	±o,o35 dptr.
o,1	118	-o,278 "	±o,482 "	±o,o44 "
o,o35	92	-o,711 "	±o,53o "	±o,o55 "
o,o1	118	-1,o75 "	±o,567 "	±o,o52 "
o,oo1	83	-1,2o8 "	±o,592 "	±o,o65 "

Tab.4

Die Auswertung der in Abb.12 und in Tab.4 dargestellten Werte führte zu folgenden Ergebnissen:

-- Gemäß unserer Aufgabenstellung gelang es,am Fernrohr im Hellen nahezu Fernpunktseinstellung der Akkommodation zu erreichen.Die Instrumentenmyopie konnte also vermieden werden.

-- Die Nachtmyopie nahm mit abnehmender Leuchtdichte zu.Die Myopisierung betrug bei Abnahme der Leuchtdichte von 1oo auf o,o1 asb durchschnittlich ca. 1 dptr.

-- Das Verhältnis zwischen Zunahme der Nachtmyopie und logarithmisch abfallender Leuchtdichte war nicht linear.Die relativ stärkste Zunahme der Minuskorrektur fanden wir am Fernrohr bei Abnahme der Leuchtdichte von o,1 auf o,o1 asb.Dadurch bekommt die Kurve der Nachtmyopie einen Knick.

-- Die Streuung der Einzelwerte erwies sich als relativ groß.

Ist die mit dem Leuchtdichteabfall durchschnittlich gefundene Myopisierung bei der relativ großen Streuung der Einzelwerte noch signifikant?

Zur Beantwortung dieser Frage fassen wir die Ergebnisse von je zwei Leuchtdichtestufen zu einem Gruppenpaar zusammen. Fragestellung : Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit P,daß der experimentell erhaltene Unterschied zwischen den Durchschnittswerten der beiden Gruppen A und B zufällig durch Stichprobenentnahme entstanden ist,wenn eigentlich gar kein Unterschied besteht?

Die Testgröße t gilt als Maß für die Wahrscheinlichkeit, daß kein Unterschied besteht.

$N_{A/B}$ = Zahl der Vpn. einer Gruppe (A bzw. B).

s = einfacher mittlerer Fehler,auf die Einzelwerte beider Gruppen bezogen.

Es gilt für

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_A^2 - \frac{(\sum x_A)^2}{N_A} + \sum x_B^2 - \frac{(\sum x_B)^2}{N_B}}{N_A + N_B - 2}}$$

für $$t = \frac{|\bar{x}_B - \bar{x}_A|}{s} \cdot \sqrt{\frac{N_A \cdot N_B}{N_A + N_B}}$$

Freiheitsgrad $FG = N_A + N_B - 2$

Aus der Tabelle folgt für ein so gewonnenes t in Abhängigkeit von FG die gesuchte Wahrscheinlichkeit P.

Beim t-Test fanden wir für die in Abb.12 gezeigten Ergebnisse folgende Werte:

	Gruppe A	Gruppe B	t	FG	P
1.	1oo asb	o,1 asb	3,68o	234	<o,o1
2.	1oo "	o,o1 "	16,ooo	234	≪o,o1
3.	o,o35 "	o,o1 "	4,75o	2o8	<o,o1
4.	o,o1 "	o,oo1 "	1,563	199	o,5> P >o,1

Tab.5

In 1.,2.und 3. ist P <o,o1 bzw. ≪o,o1,d.h. die Wahrscheinlichkeit,daß der Unterschied der durchschnittlichen Minuskorrekturwahl am Fernrohr zwischen den verglichenen Leuchtdichtestufen zufällig durch die Stichprobenentnahme entstanden ist, also eigentlich gar kein Unterschied besteht,ist (wesentlich) kleiner als 1 %.Der Unterschied ist jeweils signifikant.

Für den Vergleich der Gruppe o,o1 asb und o,oo1 asb ist die Wahrscheinlichkeit eines zufälligen,durch die Stichprobenentnahme unterschiedlichen Ergebnisses zwischen 1o und 5o %, der Unterschied ist nicht signifikant.

B. Altersabhängigkeit der Nachtmyopiehöhe am Fernrohr

1. Fernrohreinstellungen der Presbyopen bei verschiedenen Leuchtdichten.

In Abb.13 zeigen wir die durchschnittlichen Fernrohreinstellungen von 13 über 5o Jahre alten presbyopen Vpn.Die Ergebnisse wurden in gleicher Weise wie bei den Jugendlichen gewonnen.

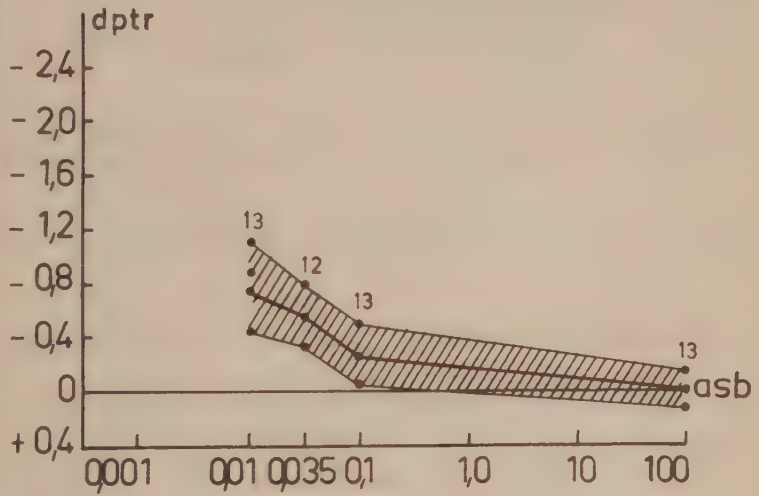

Abb.13 : Fernrohreinstellungen von 13 presbyopen Vpn. bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten (Koord. entspr.Abb.12). Schraff.:Standardabweichung der Einzelwerte

Die am Fernrohr ermittelte Nachtmyopiekurve der Presbyopen hat Eigenschaften,die denen der Kurve der Jugendlichen (Abb.12) ähnlich sind.Auch bei den Presbyopen imponiert der relativ steile Anstieg der Kurve zwischen den Leuchtdichten 0,1 und o,o1 asb,doch ist die Minuskorrekturannahme bei o,o1 asb mit - o,78 dptr deutlich geringer als bei den Jugendlichen mit - 1,o75 dptr.Die Streuung der Einzelwerte ist bei den Presby-

open relativ klein.

Vergleichen wir die durchschnittlichen Fernrohreinstellungen von 7 5o bis 6ojährigen Presbyopen mit denen von 6 über 6o Jahre alten, so erhalten wir die Ergebnisse der Tab.6 :

Leuchtdichte in asb	Alter 5o - 6o J.	Alter über 6o J.
1oo	- o,o43 dptr.	o,o33 dptr.
o,1	- o,3oo "	- o,217 "
o,o35	- o,583 "	- o,517 "
o,o1	- o,886 "	- o,65o "

Tab.6

Auch aus den Werten der Tab.6 wird deutlich, daß die Nachtmyopiehöhe mit zunehmendem Alter durchschnittlich abnimmt.

2. Einfluß des Alters auf die Fernrohreinstellungen bei den Jugendlichen.

Eine Aufschlüsselung der Fernrohreinstellungen der Jugendlichen nach Altersgruppen ergibt folgende Ergebnisse:

1o Vpn., über 3o Jahre alt, liegen mit einer durchschnittlichen Minuskorrekturannahme von - o,83 dptr. bei o,o1 asb Umfeldleuchtdichte deutlich unter dem Durchschnitt der Jugendlichen. 14 Vpn. unter 2o Jahre wählten bei o,o1 asb durchschnittlich - 1,17 dptr., davon 5 Vpn. unter 16 Jahren - 1,28 dptr. Diese Ergebnisse übersteigen den Durchschnitt.

Auch bei den jugendlichen Vpn. bestätigt sich also die Tendenz, daß die Nachtmyopie um so größer wird, je jünger die Vpn. sind.

C. Fernrohreinstellungen der einzelnen Versuchspersonen bei verschiedenen Leuchtdichten.

In der Abb.14 a - l werden die Einstellungen der einzelnen Vpn. am Fernrohr als Kurvenscharen, geordnet nach den Gruppen der Myopen (a - f), der Hyperopen (g - i), der Emmetropen (j - k) und der Presbyopen (l), abgebildet.

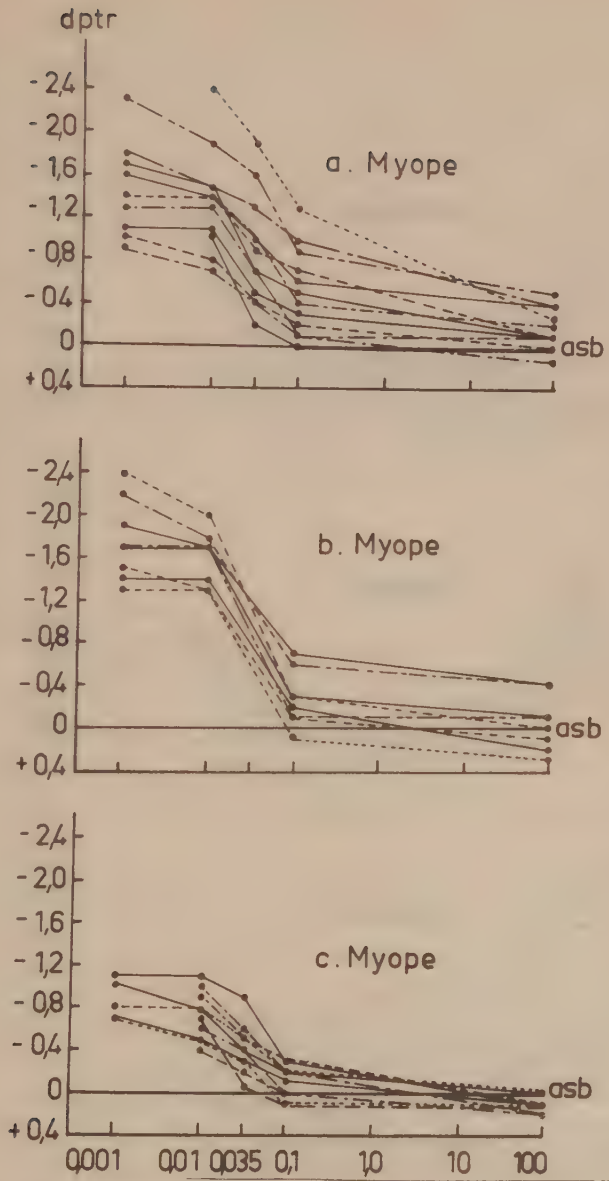

Abb.14 : Fernrohreinstellungen der einzelnen Vpn. bei verschiedenen Leuchtdichten - Einzelergebnisse zu den Werten in Abb.12 und 13. Myope Vpn. a - f ; hyperope Vpn. g - i ;emmetrope Vpn. j - k ;presbyope Vpn. l . (Koord. entspr.Abb.12)
Teil I , myope Vpn.

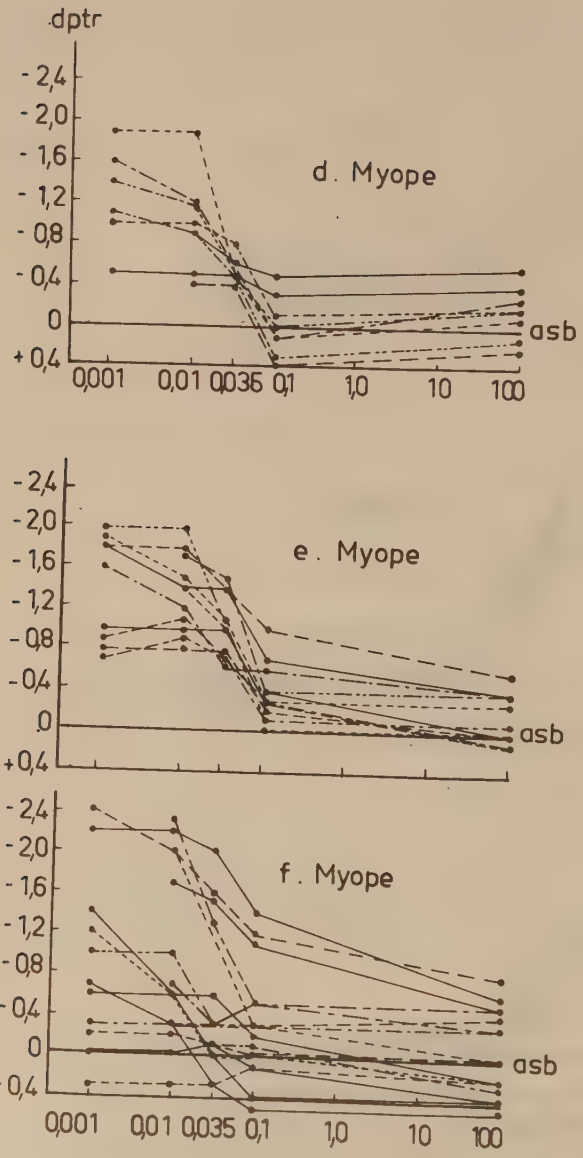

Abb.14 ; Teil II , myope Vpn.

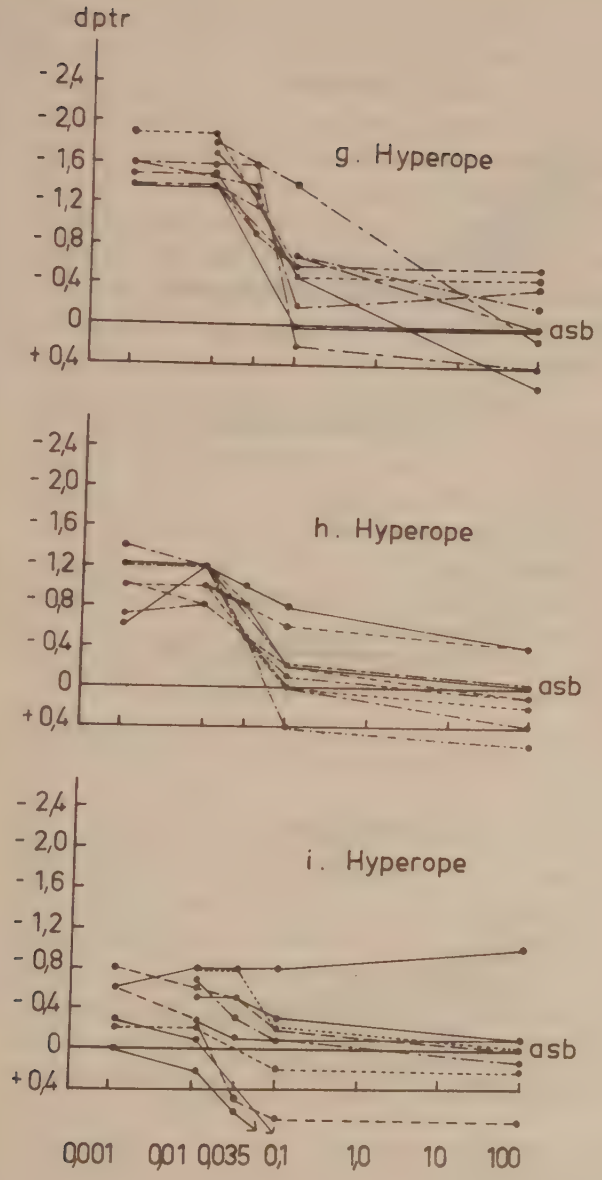

Abb.14 , Teil III , hyperope Vpn.

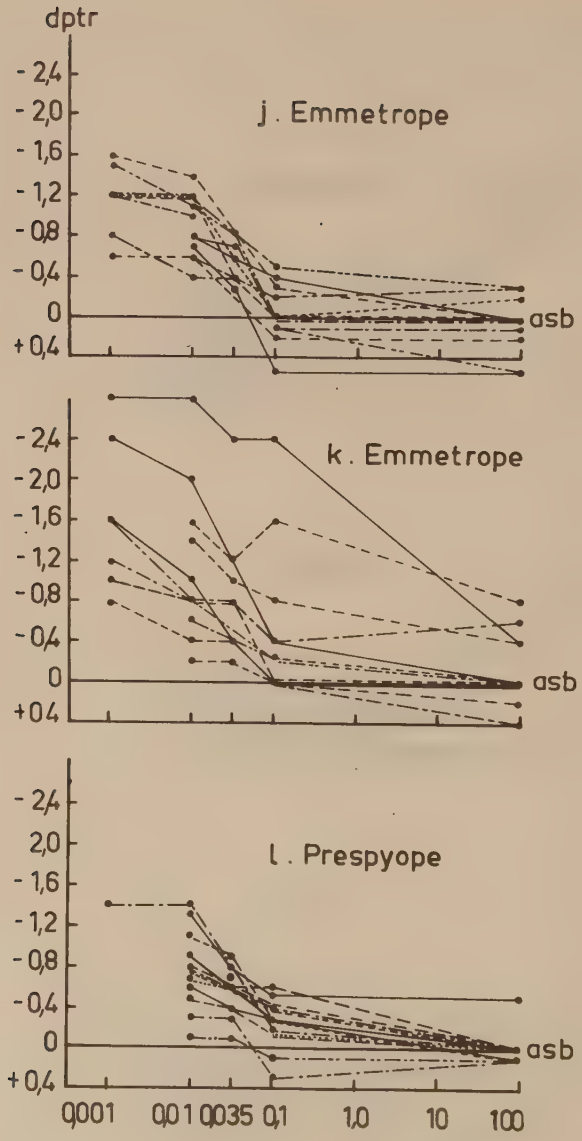

Abb.14 , Teil IV , emmetrope und presbyope Vpn.

Die Auswertung der Kurven in Abb.14 führt zu folgenden Ergebnissen:

1. Fast alle Einzelkurven demonstrieren eine Zunahme der Minuskorrektur bei Leuchtdichteabnahme von 1oo auf o,o1 asb.Lediglich drei Kurven in Abb.f und eine Kurve in Abb.i zeigen eine relative Abnahme der Minuskorrektur mit abnehmender Leuchtdichte.Drei dieser vier Kurven liegen aber stets im myopen Bereich,nur eine Vpn. zeigt das,was man Nachthyperopie nennen könnte.
2. Bei der Umfeldleuchtdichte o,o1 asb wählten von insgesamt 132 Vpn. nur 18 weniger als - o,5 dptr.Minuskorrektur, 13 weniger als - o,4 dptr.Bei den 18 Personen finden wir nur bei 12 eine geringere relative Zunahme der Myopie als - o,5 dptr.gegenüber dem Hellwert.
3. Bei 15 von 132 Vpn. verringert sich die Minuskorrektur mit abnehmender Leuchtdichte von 1oo auf o,o1 asb,bei 35 Vpn. bestand zwischen der Höhe der bei 1oo asb und bei o,o1 asb gewählten Minuskorrektur kein Unterschied.
4. Bei Abnahme der Leuchtdichte von o,1 auf o,o1 asb findet sich nur bei 6 Vpn. eine relative Hyperopisierung.
5. Bei 1o - 2o % der Vpn. zeigen sich Abweichungen stärkeren Grades vom Kurvenverlauf des Durchschnitts.

D. Nachtmyopiemessungen atropinisierter Versuchspersonen am Fernrohr.

Die Werte der Fernrohreinstellungen von 11 atropinisierten Vpn.,welche in gleicher Weise wie die in Abb.12 gezeigten Ergebnisse gewonnen wurden,stellen wir in Abb.15,Kurve A dar. Die Kurve O der Abb.15 demonstriert im Vergleich dazu die durchschnittlichen Fernrohreinstellungen der gleichen Vpn. nach Abklingen der Atropinwirkung.

Der Vergleich der beiden Kurven beweist,daß die geringere Nachtmyopie der atropinisierten Vpn. auf die Atropinwirkung zurückzuführen ist.

Im Vergleich mit der Fernrohrkurve der Jugendlichen (Abb.12) zeigt sich bei den atropinisierten Vpn. noch deutlicher als bei den Presbyopen ein geringeres Ausmaß der Nachtmyopie bei o,o1 asb,nämlich durchschnittlich von - o,536 dptr.

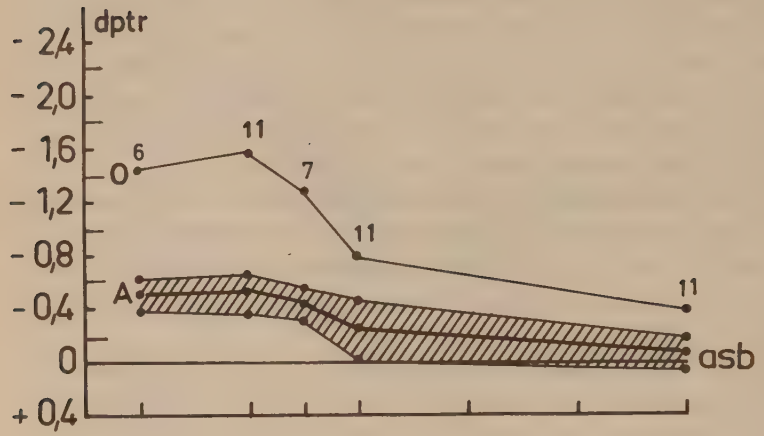

Abb.15 : Kurve A : Durchschnittliche Fernrohreinstellungen atropinisierter Vpn.bei verschiedenen Leuchtdichten. Kurve O : Durchschnittliche Einstellungen der gleichen Vpn. nach Abklingen der Atropinwirkung. Ziffern:Anzahl der Vpn.,schraff.:Standardabweichung der Einzelwerte der Kurve A. (Koord. entspr.Abb.12)

gegenüber - 1,o75 dptr. bei den Jugendlichen und - o,78 dptr. bei den Presbyopen.

Der charakteristische Knick der Kurve beim Abfall der Leuchtdichte von o,1 auf o,o1 asb ist angedeutet auch bei der Kurve der Atropinisierten erkennbar,wobei die Streuung der Ergebnisse dieser Gruppe auffallend gering ist.
Prüfen wir die mit abnehmender Leuchtdichte gefundene Myopisierung der 11 atropinisierten Vpn. auf ihre Signifikanz,so errechnen wir folgende Werte:

	Gruppe A	Gruppe B	t	FG	P
1.	1oo asb	o,1 asb	2,43	2o	o,o5 > P > o,o1
2.	1oo asb	o,o1 asb	9,67	2o	« o,o1

Tab.7

Das heißt, die Wahrscheinlichkeit, daß die bei den Atropinisierten gefundene Myopisierung bei Abnahme der Leuchtdichte von 1oo auf o,1 asb rein zufällig durch die Stichprobenentnahme entstanden ist, also eigentlich gar kein Unterschied besteht, beträgt zwischen 1 % und 5 % und ist bei Leuchtdichteabnahme von 1oo auf o,o1 asb sogar wesentlich kleiner als 1 %. Die Myopisierung ist also jeweils signifikant.

Da die sphärische Aberration, abgesehen bei den Presbyopen, ohne nennenswerten Einfluß auf die Höhe der Nachtmyopie bleibt, (s.S.1o ff.), kann die durch Atropinwirkung schon im Hellen vorhandene Mydriasis die Fernrohreinstellungen der Atropinisierten nicht nennenswert beeinflussen. Deshalb drückt die durchschnittliche Nachtmyopiehöhe der Atropinisierten auch für die Gruppe der Nichtatropinisierten den Teil der Nachtmyopie aus, der am Fernrohr unabhängig von Akkommodation entsteht.

Mit rund - o,5 dptr. fanden wir für den unabhängig von Akkommodation entstehenden Teil der Nachtmyopie die gleiche Höhe wie andere Autoren (s.S.9).

E. Nachtmyopiemessungen homatropinisierter Versuchspersonen am Fernrohr.

Anfänglich hatten wir versucht, den Teil der Nachtmyopie, der unabhängig von Akkommodation entsteht, an homatropinisierten Vpn., statt an atropinisierten zu messen, weil dieses Verfahren für die Vpn. zumutbarer erschien und deswegen auch größere Untersuchungszahlen zuließ. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen wir in Abb.6.

Bei o,o1 asb Umfeldleuchtdichte wählten die Homatropinisierten durchschnittlich - o,83 dptr. Der Vergleich mit den Ergebnissen der Untersuchungen der Atropinisierten ergibt, daß unter Homatropinwirkung keine vollständige Cycloplegie erreicht wurde. Der Versuch, den von Akkommodation unabhängigen Teil der Nachtmyopie am Fernrohr an einer größeren Zahl von homatropinisierten Vpn. zu bestimmen, schlug deshalb fehl.

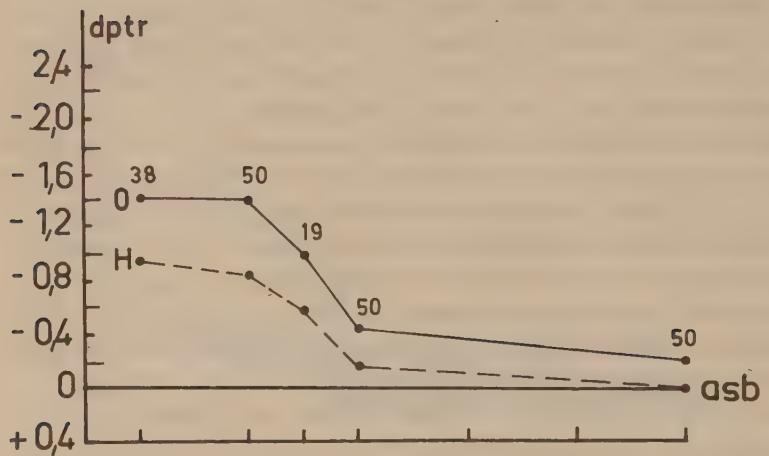

Abb.16 : Kurve H : Durchschnittliche Fernrohreinstellungen homatropinisierter Vpn.bei verschiedenen Leuchtdichten.Kurve O : Durchschnittliche Einstellungen der gleichen Vpn. nach Abklingen der Homatropinwirkung,Ziffern:Anzahl der Vpn.(Koord.entspr.Abb.12)

F. Vergleich der Nachtmyopiehöhe bei Verwendung von Fernrohr und von Probegläsern.

In der Abb.17 vergleichen wir die bei geringen Leuchtdichten am Fernrohr bei den Gruppen der Jugendlichen,Presbyopen und Atropinisierten durchschnittlich gefundenen Nachtmyopie mit der bei Verwendung von Probegläsern gefundenen. Die Höhe der Korrekturannahme im Hellen ist mit Probegläsern immer null,da diese ja mit der Bezugsrefraktion identisch ist.

Der Abb.17 können wir folgendes entnehmen:

Mit Probegläsern finden wir bei der Gruppe der vollakkommodationsfähigen Jugendlichen durchschnittlich eine geringere Nachtmyopiehöhe als am Fernrohr.Das Verhältnis zwischen den Durchschnittswerten der mit Probegläsern und am Fernrohr gemessenen Nachtmyopie beträgt bei o,o1 asb - o,712 : - 1,o75 dptr.,bei o,o35 asb - o,525 : - o,8o6 dptr.Dagegen stimmen die

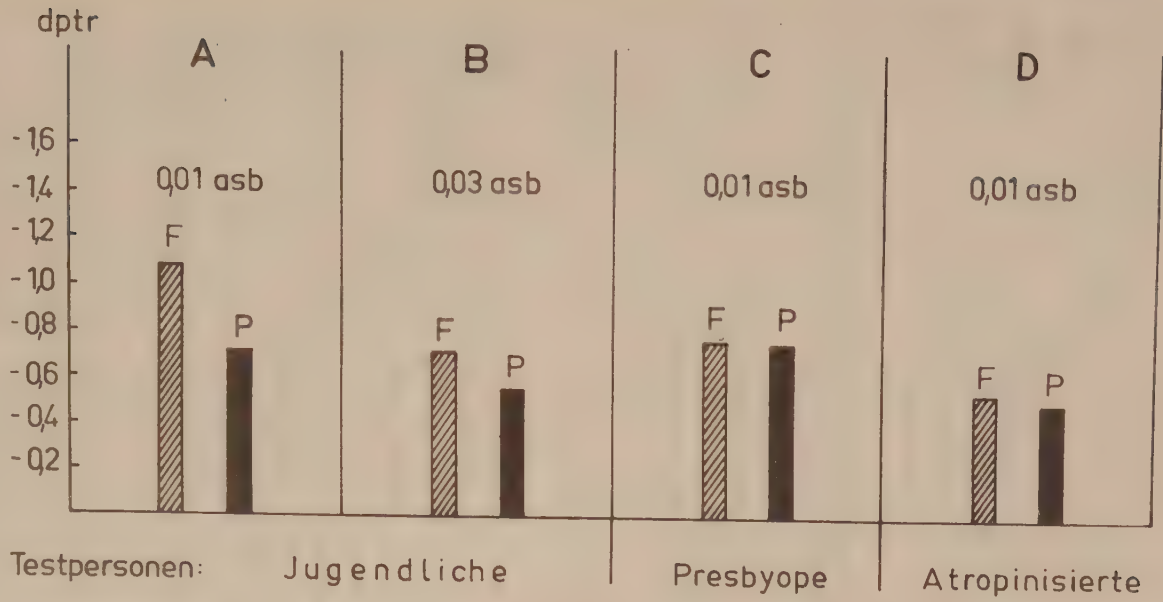

Abb.17 : Vergleich der bei verschiedenen Gruppen von Vpn. (A/B=Jugendliche, C=Presbyope, D=Atropinisierte) am Fernrohr durchschnittlich gefundenen Nachtsehschärfe (F, schraff. Säulen) mit der, wie sie bei Verwendung von Probegläsern (P, schwarze Säulen) ermittelt wurde. (Jeweilige Umfeldleuchtdichte in asb)

Ergebnisse beider Ermittlungsarten bei den wenig zur Akkommodation neigenden Presbyopen und den cycloplegischen Atropinisierten bei o,o1 asb fast überein.

Außerdem fällt auf, daß Jugendliche und Presbyope bei Verwendung von Probegläsern fast gleich stark myop sind.

Die Vpn., die am Fernrohr bei o,o1 asb gegenüber 1oo asb weniger als - o,25 dptr. myoper wurden (12 Vpn.- 1o,7 %), zeigen auch bei der Probeglasprüfung durchschnittlich geringere Minuswerte (- o,33 dptr.). Umgekehrt wählten diejenigen, welche das Probeglas bei o,o1 asb ablehnten (2o Vpn.- 17,9%) oder nur geringfügige Verbesserung des Bildeindruckes mit Minusgläsern angaben (14 Vpn.- 12,5 %), auch eine geringere durchschnittliche Minuskorrektur am Fernrohr. Auf den Durchschnitt bezogen, zeigt sich bei beiden Arten der Nachtmyopieermittlung also die gleiche Tendenz.

Bei o,o1 asb Umfeldleuchtdichte zeigen ca. 1o % der Vpn. am Fernrohr keine Zunahme der Minuskorrekturwahl gegenüber dem Hellwert, bei Verwendung von Probegläsern waren es ca. 18 %.

G. Vergleich der Nachtmyopiehöhe zwischen den Gruppen der Myopen, Emmetropen und Hyperopen am Fernrohr.

Um zu prüfen, ob die Refraktionsanomalien Einfluß auf die Höhe der Nachtmyopie haben, schlüsselten wir die Ergebnisse der Fernrohrnachtmyopiemessungen der Jugendlichen entsprechend auf. Die dabei erhaltenen Werte zeigt die Abb. 18 .

Der Abb. 18 können wir entnehmen, daß zwischen der Nachtmyopiehöhe bei den Myopen, Emmetropen und Hyperopen keine nennenswerten Unterschiede bestehen. Die Ergebnisse anderer Autoren werden damit bestätigt.

Dies ist jedoch nur der Fall, wenn wir die Bezugsrefraktion zugrundelegen, die am unbeeinflußten Auge mit Probegläsern gewonnen wurde. Korrigieren wir die einzelnen Einstellwerte aber um die unter Homatropin- oder Atropinwirkung gewonnene Refraktion und vergleichen dann die so erhaltenen Werte der Nachtmyopehöhen zwischen den drei Gruppen, so findet sich das in Abb. 19 dargestellte Ergebnis.

Das Kurvenniveau verlagert sich dann bei den Hyperopen insgesamt in den Minusbereich der Refraktion. Die relative

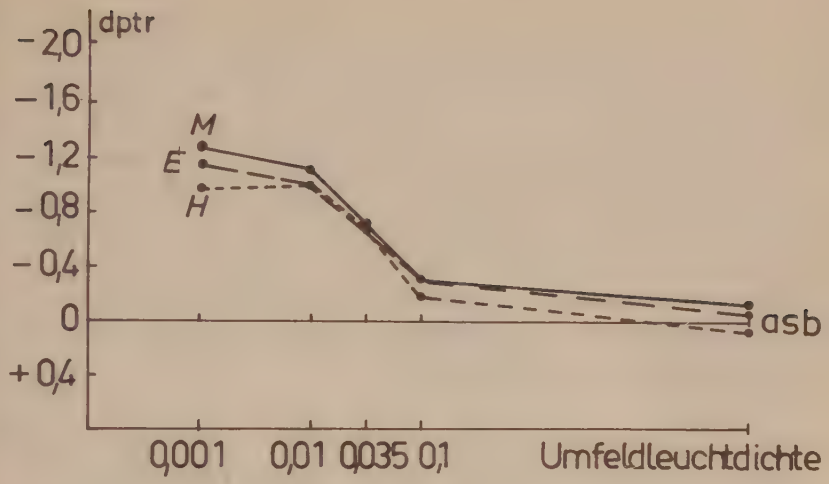

Abb.18 : Vergleich der durchschnittlichen Nachtmyopiehöhe der Myopen (M),Emmetropen (E) und Hyperopen (H) am Fernrohr,Aufschlüsselung der Mittelwerte aus Abb.12.(Koord.entspr.Abb.12)

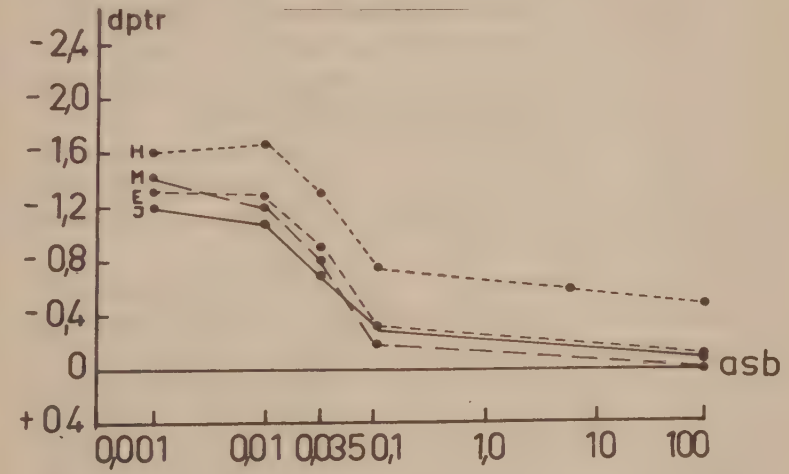

Abb.19 : Durchschnittliche Fernrohreinstellungen der Hyperopen (H),Myopen (M) und der Emmetropen (E),Originalwerte um die Refraktion korrigiert,die unter Cycloplegicawirkung ermittelt wurde,im Vergleich zur Mittelwertskurve der Jugendlichen (J) aus Abb.12. (Koord.entspr.Abb.12).S.Text.

durchschnittliche Myopisierung gegenüber dem Hellwert entspricht bei abnehmender Leuchtdichte der bei den Myopen und Emmetropen gefundenen. Offenbar besteht bei den Hyperopen am unbeeinflußten Auge von vorneherein eine gewisse Akkommodation, zu der sich der akkommodativ bedingte Teil der Nachtmyopie dann addiert.

Aus diesen Umständen erklärt sich auch das relativ hohe Niveau der entsprechenden Kurven der Atropinisierten und Homatropinisierten, bei denen die ermittelte Refraktion auf die unter Cycloplegicawirkung bestimmte Ausgangsrefraktion bezogen wird, denn die Testpersonen dieser Gruppen waren aus praktischen Gründen meist hyperop.

H. Konstanz der Nachtmyopiehöhe am Fernrohr und der Einfluß gezielter Akkommodationsförderung durch Änderung der Versuchsumstände.

Um die Konstanz der Nachtmyopie zu ermitteln, maßen wir sie am Fernrohr bei zwei Vpn. nach der beschriebenen Methode täglich morgens und abends über 11 Tage. Unsere Ergebnisse zeigen wir in Abb. 2o. Es fanden sich bei geringen Leuchtdichten Schwankungen der Minuskorrekturbis zu über 1 dptr. Die Nachtmyopie der Einzelperson ist bei Beobachtung über längere Zeiträume also nur in sehr groben Grenzen konstant.

Vergleichen wir die abendlichen Einstellungen mit denen am Morgen, so finden sich bei den Einzelwerten Unterschiede, die Durchschnitte der Morgen- und Abendwerte sind, wie aus der Abb. 2o hervorgeht, fast identisch.

Beim Test über 3 Stunden, bei dem wir die Nachtmyopie im Abstand von 2o min. prüften, war sie jedoch ziemlich konstant, die Meßwerte können aus der Abb. 21 entnommen werden.

Ließen wir jedoch direkt vor der Einstellung jeweils um 4 dptr. akkommodieren, indem wir das Fernrohrbild bei dieser Refraktion scharf stellen ließen (was entgegen den Angaben von PALACIOS 1943 auch bei o,o1 asb Leuchtdichte leicht möglich war), zeigten die Vpn. im unterschiedlichem Ausmaß eine gesteigerte Nachtmyopie. Nach spätestens 4 hintereinander folgenden unbeeinflußten Einstellungen wurde der Ausgangswert dann meist wieder erreicht.

Bei Verwendung von Probegläsern war die Nachtmyopie dagegen nicht so leicht zu beeinflussen.

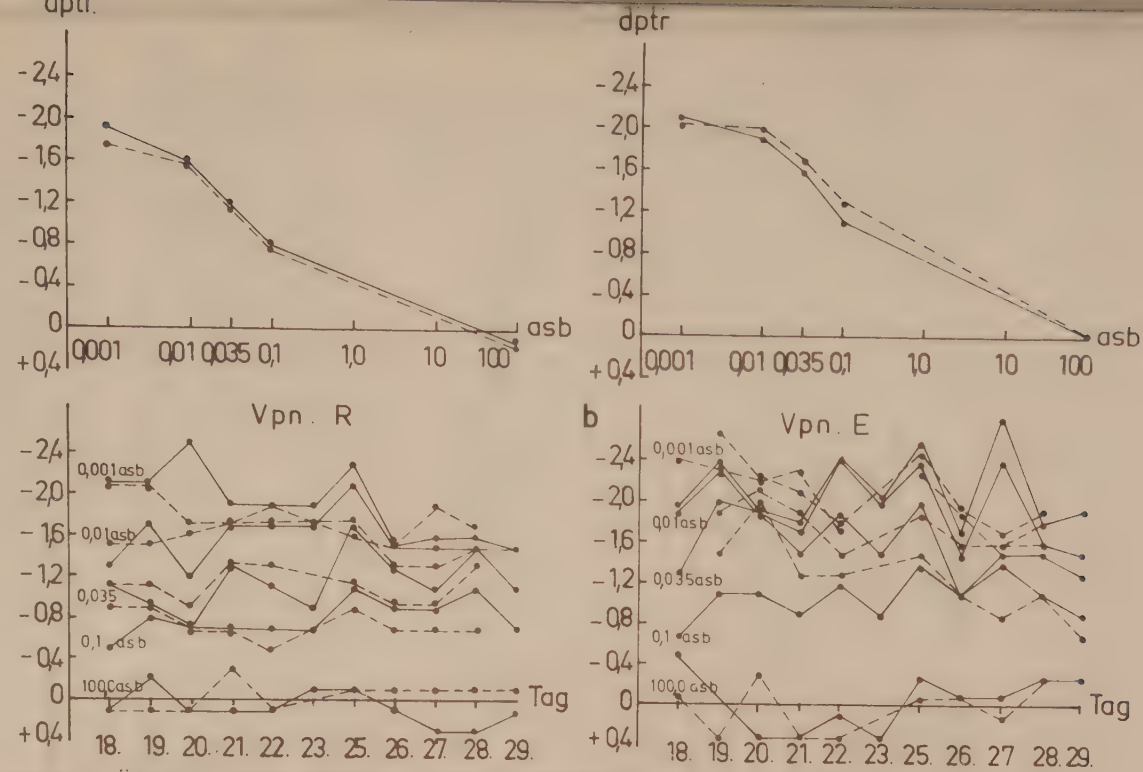

Abb.2o : Über 11 Tage morgens (——) und abends (----) bei verschiedenen Leuchtdichten an den 2 Vpn. R.und E.gemessene Fernrohreinstellungen. Oben: Durchschnittswerte der Einstellungen ;unten: Einzelergebnisse. (Umfeldleuchtdichte in asb; Fernrohrrefraktion in dptr)

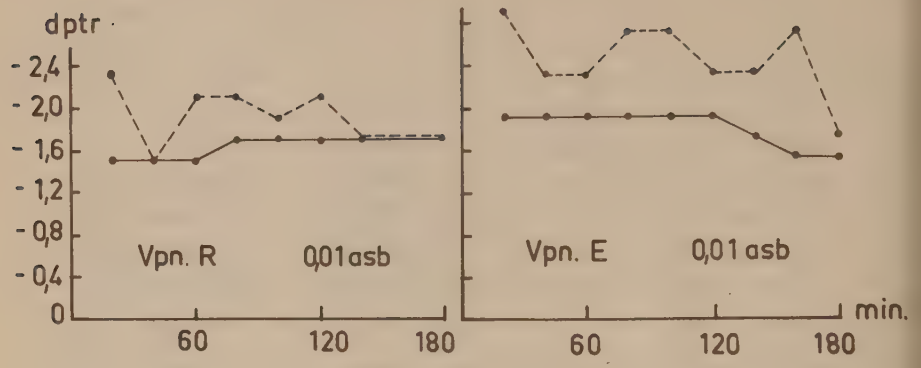

Abb.21 : Über 3 Stunden im Abstand von je 2o min.bei 2 Vpn. ermittelte Fernrohreinstellungen(in dptr.) bei verschiedenen Leuchtdichten (——) ; Einstellungen nach direkt zuvor provozierter Akkommodation von 4 dptr.(----). S. Text .

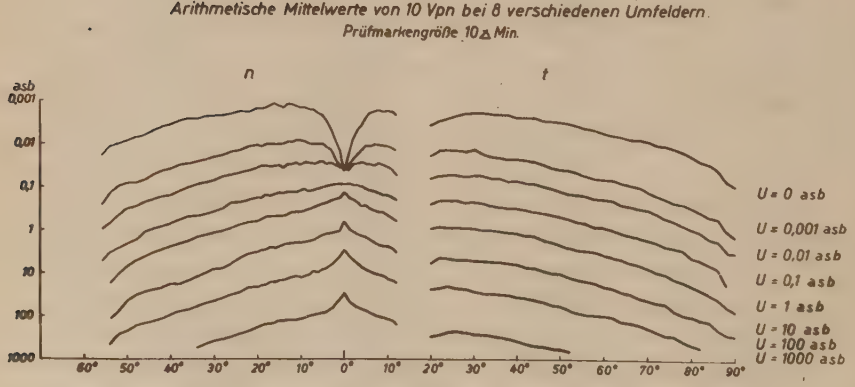

Abb.22 : Leuchtdichte-Schwellen ΔL (Ordinate) bei 8 verschiedenen Umfeldern (Umfeldleuchtdichte L am rechten Ende jeder Kurve angegeben) im 0° Meridian der Netzhaut (n=nasal,t=temporal).Nach AULHORN et al. 1966

IV. Besprechung unserer Versuchsergebnisse

In der nun folgenden Besprechung unserer Versuchsergebnisse wollen wir diese mit denen anderer Autoren vergleichen und sie zu den im ersten Teil dieser Arbeit gemachten Überlegungen in Beziehung setzen.

A. Kurze Zusammenfassung der Versuchsergebnisse, die schon bekanntes Wissen von der Nachtmyopie bestätigen.

Einige allgemeine Eigenschaften der Nachtmyopie, die uns aus den Untersuchungen anderer Autoren schon bekannt waren, wurden durch unsere Versuchsergebnisse bestätigt:

-- Es besteht eine direkte Beziehung zwischen der Nachtmyopiehöhe und der Leuchtdichte in dem Sinne, daß die durchschnittlich gemessene Höhe der Nachtmyopie mit abnehmender Leuchtdichte in gewissen Grenzen zunimmt. (Jedoch fanden die verschiedenen Autoren sehr unterschiedliche Höhe der Nachtmyopie, s.S.5 u.6.)

-- Die Nachtmyopie wird bei einem hohen Prozentsatz der Untersuchten gefunden. Wir ermittelten bei Untersuchung am Fernrohr 9o % Nachtmyope, bei Verwendung von Probegläsern 83 %. Die Ergebnisse anderer Autoren gehen aus Tab.1 hervor.

-- Die interindividuelle Streuung der Nachtmyopie ist recht hoch.

-- Die durchschnittliche Höhe der Nachtmyopie ist vom Alter abhängig.

-- Emmetrope, hyperope und myope Vpn. sind durchschnittlich in gleichem Ausmaß nachtmyop, wenn wir die von ihnen gewählten Korrekturen um den bei ihnen am unbeeinflußten Auge mit Probegläsern ermittelten Brechungsfehler korrigieren.

-- Auch unter Atropinwirkung findet man Nachtmyopie und zwar in Höhe von - o,5 dptr. bei relativ kleiner interindividueller Streuung der Einzelwerte.

B. Besprechung der Ergebnisse, die neues Wissen über die Nachtmyopie und insbesondere über das Verhalten der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten vermitteln.

Gemäß unserer Aufgabenstellung ermittelten wir eine durch große Untersuchungszahlen genügend gesicherte Verlaufskurve der durchschnittlichen Nachtmyopiehöhe in Abhängigkeit von der Leuchtdichte am Fernrohr mit einer Methode, bei der ein großer Teil der Faktoren, welche Akkommodation in unphysiologischer Weise fördern können, vermieden wurde (Abb.12). Bei der großen interindividuellen Streuung der Nachtmyopiehöhe ist die errechnete Standardabweichung der Einzelwerte natürlich relativ groß. Dennoch konnten wir mit dem t-Test durchschnittlich zunehmende Myopie bei Absinken der Leuchtdichte von 1oo auf o,1 asb und besonders von o,1 auf o,o1asb bei unseren Versuchen beweisen, während eine weitere Zunahme der Nachtmyopie bei Übergang von o,o1 auf o,oo1 asb Umfeldleuchtdichte nicht signifikant war.

Als Bestätigung dafür, daß es uns gelang, unphysiologische Akkommodation zum großen Teil zu verhindern, kann gelten, daß im Hellen auch bei Verwendung eines Fernrohres von den Vpn. durchschnittlich keine Minuskorrekturen angenommen wurden.

Daß das gleiche auch für die Gruppen der Presbyopen, Homatropinisierten und Atropinisierten zutrifft, ist eine Bestätigung der Zuverlässigkeit unserer Methode.

Da auch beim freien, unbeeinflußten Sehen im Hellen Fernpunktseinstellung der Akkommodation besteht, und bei geringen Leuchtdichten dabei ein großer Teil der Faktoren, die bei experimentellen Untersuchungen die Akkommodation in unphysiologischer Weise fördern können, entfällt, ist anzunehmen, daß unsere Nachtmyopiekurve die physiologische Beziehung zwischen Nachtmyopiehöhe und Leuchtdichte eher ausdrückt, als das bei den früheren Ergebnissen anderer Autoren, bei deren Ermittlung methodisch bedingte Akkommodation nicht vermieden werden konnte, der Fall war.

So wird bei der bekanntesten Nachtmyopiekurve von SCHOBER 1947 beispielsweise in Abweichung von den Verhältnissen beim freien Sehen, bei 1oo asb nicht Fernpunktseinstellung der Akkom-

modation gefunden, sondern bereits eine durchschnittliche Minuseinstellung der Oculare von - 1,8 dptr.(Abb.24).

Die von uns gefundene Beziehung zwischen Nachtmyopie und Leuchtdichte soll nun unter Beachtung unserer übrigen Versuchsergebnisse im Einzelnen besprochen werden.

Das Verhalten der Nachtmyopie im Dämmerungsbereich der Leuchtdichte.

Die von uns gefundene Myopisierung bei Abnahme der Leuchtdichte von 1oo auf o,1 asb war am Fernrohr bei der Gruppe der Jugendlichen, der Presbyopen, der Homatropinisierten und auch bei der Gruppe der Atropinisierten mit rund - o,2 dptr. etwa gleich hoch (Abb.23).

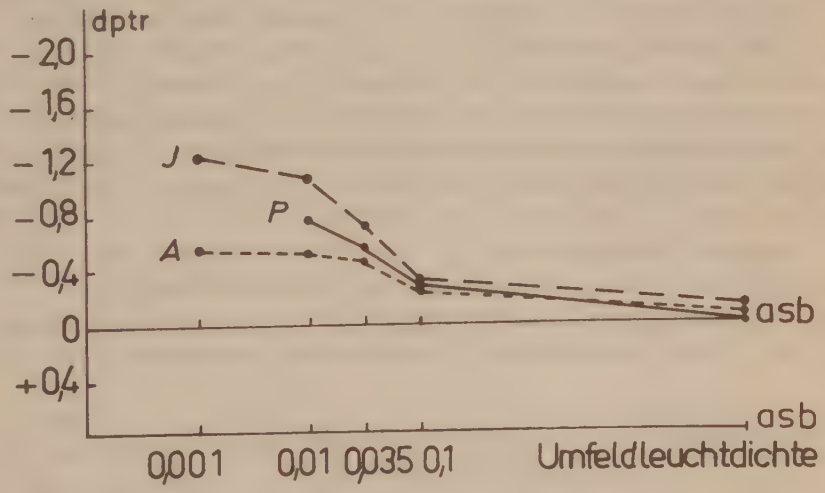

Abb.23 : Vergleich der durchschnittlichen Fernrohreinstellungen jugendlicher (Abb.12), presbyoper (Abb.13) und atropinisierter (Abb.15) Versuchspersonen bei verschiedenen Leuchtdichten.(Koord. s. Abb.12)

Da dieser Kurvenverlauf auch bei den Atropinisierten besteht, konnte die Akkommodation bei unseren Versuchen in diesem Leuchtdichtebereich keine nennenswerte Bedeutung haben.

Wie ist die Myopisierung im Dämmerungsbereich der Leuchtdichte zu deuten?

Nach unseren Ausführungen im ersten Teil dieser Arbeit (s.S.17 ff.) wurde die Höhe des durch chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen bewirkten Teils der Nachtmyopie bei Verwendung eines Temperaturstrahlers von 3ooo°C als Lichtquelle mit ca.- o,35 dptr. errechnet.Dieser Wert galt für eine Leuchtdichteabnahme vom Hellen bis auf o,o1 asb.Da nach POLACK 1963 das Maximum spektraler Hellempfindlichkeit im Dämmerungsbereich der Leuchtdichte zwischen dem der Zapfen und dem der Stäbchen liegen soll,dürfte der größte Teil unserer bei o,1 asb Umfeldleuchtdichte gefundenen Nachtmyopie von ca.- o,2 dptr. schon durch chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen erklärt sein.

Der innerhalb der Fehlerbreite liegende Rest kann durch eine oder mehrere der übrigen,im ersten Teil dieser Arbeit besprochenen Ursachen für von Akkommodation unabhängig entstehende Nachtmyopie,nämlich sphärische Aberration,Änderung des Fixationsortes auf der Netzhaut und Bildortsverlagerung innerhalb der meridionalen Kaustik bei abnehmender Leuchtdichte bewirkt sein.

Daß die Presbyopen bei o,1 asb vergleichsweise die höchste Myopisierung zeigen,weist vielleicht auf den bei ihnen vermuteten,stärkeren Einfluß der sphärischen Aberration hin,doch liegt die Abweichung innerhalb der Fehlerbreite.

Das Verhalten der Nachtmyopie im Leuchtdichtebereich skotopischen Sehens

Das Auffälligste an der von uns gefundenen Nachtmyopie-Leuchtdichtekurve (Abb.12) ist der relativ starke Anstieg der Nachtmyopie bei Abfall der Leuchtdichte von o,1 auf o,o1 asb.Dadurch verläuft unsere Kurve nicht linear,sondern hat hier einen "Knick".Dieses Verhalten war aus den bisherigen Nachtmyopiemessungen anderer Autoren nicht bekannt.

Wir können diesen plötzlich stärkeren Kurvenanstieg auch bei den Presbyopen,Homatropinisierten und Atropinisierten, wenn auch in geringerem Ausmaß nachweisen.

Zu vermuten ist er auch bei der mit Probegläsern ermittelten Nachtmyopiekurve.Hier wurde die Nachtmyopiehöhe

bei der Leuchtdichte o,1 asb zwar nicht bestimmt,aber der gleichförmige Verlauf der Nachtmyopiekurve bei der Leuchtdichteabnahme von 1oo auf o,1 asb bei den übrigen Versuchspersonengruppen (Abb.22) läßt darauf schließen,daß dieser auch für die mit Protegläsern ermittelte Nachtmyopie zutrifft. Die weitere Konstruktion der "Protegläskurve" zeigt dann ebenfalls den charakteristischen Knick.Der Anstieg ist jedoch wesentlich weniger steil als bei der "Fernrohrkurve".

Einen gewissen Aufschluß über die Ursachen des plötzlich stärkeren Anstiegs der Nachtmyopie bei Abnahme der Leuchtdichte unter o,1 asb gibt die Verlaufskurve der Nachtmyopie bei den Atropinisierten(Abb.22).Auch hier findet sich der plötzlich steilere Anstieg,er ist aber mit Zunahme der Nachtmyopie von - o,277 auf - o,536 dptr. bei Abfall der Leuchtdichte von o,1 auf o,o1 asb wesentlich geringer,als bei den Jugendlichen am Fernrohr und auch geringer als bei Testung mit Protegläsern am unbeeinflußten Auge.

Da der einzige,hier wesentliche Unterschied zwischen den Atropinisierten und den Nichtatropinisierten in der Akkommodationslähmung bei den Atropinisierten besteht,können wir schließen,daß die höhere Zunahme der Nachtmyopie bei den Nichtatropinisierten auf Akkommodation zurückzuführen ist.

Durch den Verlauf der "Fernrohrkurven" bei den Presbyopen und Homatropinisierten,die nur noch in begrenztem Ausmaß akkommodieren,wird dieser Schluß bestätigt.

Wir können festhalten:
Bei Abnahme der Leuchtdichte von o,1 auf o,o1 asb zeigt außer dem Teil der Nachtmyopie,der unabhängig von Akkommodation entsteht,auch der Teil,der durch Akkommodation bedingt ist,eine sprunghafte Zunahme.

Zur Deutung dieses Phänomens wollen wir die in Abb.22 gezeigten Kurven von AULHORN et al.1966 betrachten.Sie zeigen die LUE bei verschiedenen Umfeldleuchtdichten in einem bestimmten Netzhautmeridian.Die zentrale LUE entspricht bei einem Umfeld von o,1 asb etwa der peripheren (ebener Kurvenverlauf).Bei o,o1 asb ist aber die zentrale LUE deutlich der peripheren unterlegen (trichterförmige Einsenkung in Kurvenmitte).

Diese Verhältnisse legen den Schluß nahe, daß zwischen o,1 und o,o1 asb Umfeldleuchtdichte der Übergang vom zentralen zum peripheren Sehen stattfindet. Dieser Übergang und der plötzlich stärkere Anstieg der Nachtmyopie finden sich also im gleichen Leuchtdichtebereich. Das berechtigt uns zu der Vermutung, daß beide Anteile der Nachtmyopie beim Übergang vom fovealen zum extrafovealen Sehen sprunghaft zunehmen.

Der unabhängig von Akkommodation entstehende Teil der Nachtmyopie ist in seiner Höhe konstant und von der Methode der Ermittlung ziemlich unabhängig. Über seine Ursachen wurde schon ausführlich im ersten Teil dieser Arbeit gesprochen. Wir wollen uns jetzt mit dem Verhalten und der Deutung des akkommodativen Teils der Nachtmyopie näher beschäftigen.

Die Höhe des akkommodativ bedingten Teils der Nachtmyopie errechnet sich bei unseren Ergebnissen nach Abzug des konstanten, unabhängig von der Akkommodation entstehenden Teils der Nachtmyopie von - o,5 dptr. am Fernrohr bei o,o1 asb Umfeldleuchtdichte auf - o,58 dptr., bei Verwendung von Probegläsern auf durchschnittlich - o,17 dptr. Die Höhe des akkommodativ bedingten Teils der Nachtmyopie ist also offenbar entscheidend von der Untersuchungsmethode abhängig.

Die Variabilität des akkommodativ bedingten Teils der Nachtmyopie wird durch folgende Beobachtungen bestätigt:

-- Die Streuung der Ergebnisse verschiedener Vpn. bei jeweils einer Methode war sowohl bei der am Fernrohr, wie bei der mit Probegläsern ermittelten Nachtmyopie sehr groß.

-- Die durchschnittliche Minuskorrekturannahme war am Fernrohr bei sehr jungen Vpn. größer als beim Durchschnitt der Jugendlichen. Sie war auch größer bei der Gruppe der Vpn., die subjektiv über besonders schlechtes Nachtsehvermögen klagte, nämlich durchschnittlich - 1,55 dptr.

-- Die durchschnittliche Minuskorrekturannahme ließ sich am Fernrohr bei gleichbleibender Leuchtdichte durch Verwendung eines vergrößernden Systems, durch Änderung des Einstellmodus, durch die Aufforderung, scharf hinzusehen oder durch vorher provozierte Akkommodation erhöhen.

-- Die Minuskorrekturannahme war am Fernrohr ohne erkennbare Gesetzmäßigkeit bei Einstellungen jeweils einer

Vpn. an verschiedenen Tagen und zwischen morgens und abends ziemlich unterschiedlich (Differenzen bis zu 1,4 dptr.).

--Bei der Gruppe der Hyperopen fanden wir über alle Leuchtdichtebereiche stärkere Akkommodation als bei den Emmetropen oder Myopen, wenn der unter Cycloplegicawirkung ermittelte Refraktionsfehler korrigiert wurde.

Es ergibt sich also folgende wichtige Feststellung:

Die Höhe der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten ist variabel und wesentlich durch die Untersuchungsmethode bestimmt.

Damit sind die Hypothesen bezüglich der Nachtmyopie von SCHOBER 1947 ff., IVANOFF 1947 ff. und besonders die von KÜHL 1944 ff. widerlegt, wonach die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten stets in eine stabile, sogenannte "Akkommodationsruhelage" einschwenkt, die bei einer akkommodativen Einstellung des Auges von 1 bis 2 dptr. liegen sollte. Die im ersten Teil dieser Arbeit an der Gültigkeit dieser Hypothesen für die Nachtmyopie geäußerten Zweifel konnten durch unsere Ergebnisse experimentell bestätigt werden.

Auch die differenten Ergebnisse der in Tab.1 zusammengestellten Nachtmyopiemessungen verschiedener Autoren sind durch die bei den verschiedenen Methoden in unterschiedlicher Weise geförderte Akkommodation zu erklären.

Besonders deutlich wird das aus dem in Abb.24 gezeigten Vergleich der bisher allgemein gültigen SCHOBER`schen Nachtmyopiekurve mit unserem am Fernrohr bei den Jugendlichen gefundenen Ergebnissen (Abb.12).

Bei SCHOBER`s Versuchsanordnung ist der durch die Untersuchungsmethode bedingte Akkommodationsreiz so stark, daß bereits im Hellen in erheblichem Ausmaß akkommodiert wird. Dadurch bekommt seine Kurve von vorneherein ein den natürlichen Verhältnissen nicht entsprechendes hohes Niveau. Bei abnehmender Leuchtdichte nimmt die durchschnittliche Minuskorrekturannahme seiner Testpersonen durch unabhängig von Akkommodation entstehende Nachtmyopie und durch weitere Akkommodation nur noch langsam zu. Ein sprunghafter Anstieg der Akkommodation bei abnehmender Leuchtdichte ist dadurch nicht mehr möglich, woraus sich der fast lineare Verlauf seiner Kurve erklärt.

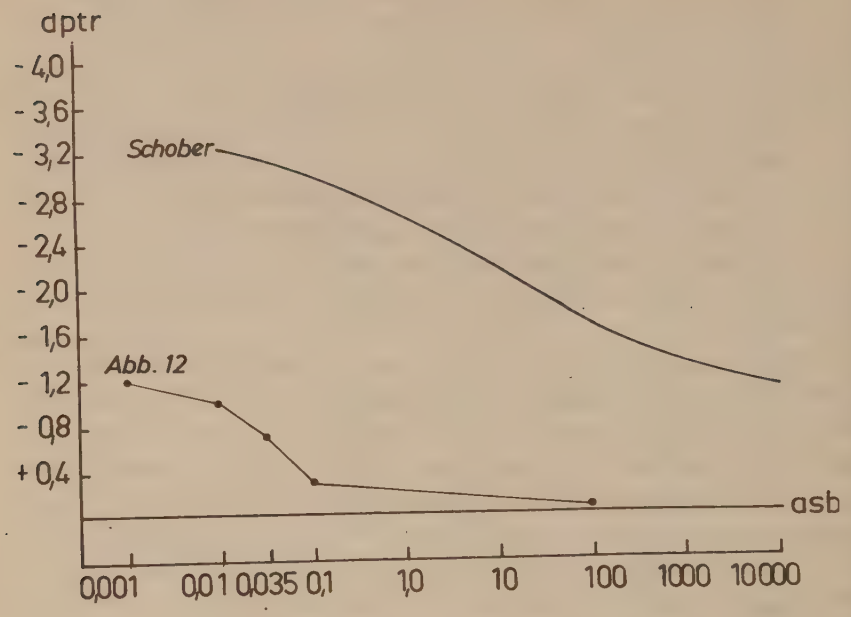

Abb.24 : Vergleich der SCHOBER`schen Nachtmyopiemittelwertskurve aus Abb.1 mit unseren am Fernrohr bei den Jugendlichen gefundenen Ergebnissen aus Abb.12.
(Koordinaten entspr. Abb.12)

Man könnte nun geneigt sein,die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten lediglich als Such- und damit Zufallseinstellung bei Verlust ihrer festen Führung zu betrachten. Da eine Änderung der Akkommodation von der Fernpunktseinstellung aus normalerweise nur in myopischer Richtung möglich ist,müßte als Durchschnitt verschiedener Meßwerte bei Gauß`scher Verteilung der Einzelwerte eine myopische Einstellung resultieren,wie es KATZ 1949 an einer Vpn. zu beobachten glaubte.
Dem widersprechen jedoch einige unserer Versuchsergebnisse:

-- Bei den Vorversuchen ergab sich bei geringen Leuchtdichten bei vielen direkt aufeinander folgenden Einstellungen am Fernrohr und bei Verwendung von Probegläsern keine Gauß`sche Verteilung der Höhe der angenommenen Minuskorrekturen bei den

einzelnen Vpn., sondern es ergaben sich ziemlich konstante Werte, solange keine Ermüdung eintrat.

-- Bei Fernrohreinstellungen im Abstand von 2o min. über mehrere Stunden hinweg fanden wir bei den verschiedenen Umfeldleuchtdichten ebenfalls eine ziemlich konstante Minuskorrekturwahl (Abb.21).

-- Die Tendenz zur Nachtmyopie war bei den einzelnen Vpn. auch bei unterschiedlicher Methode gleich. Vpn., die am Fernrohr stark nachtmyop waren, nahmen bei geringen Leuchtdichten auch relativ starke Minusgläser an.

Die gewählten Minuskorrekturen wurden bei Nachtmyopiemessung mit Probegläsern meist sofort nach Vorschalten des entsprechenden Grades angenommen, wobei man den Eindruck hatte, daß die akkommodative Einstellung des Auges zu diesem Zeitpunkt bereits vorhanden war.

Zusammen berechtigen uns die genannten Umstände zu folgender Annahme:

Die akkommodative Einstellung des Auges der Einzelperson erreicht bei geringer Leuchtdichte in Abhängigkeit von dieser und von der Gesamtheit aller akkommodationsbegünstigenden Faktoren mit gewisser Konstanz spontan eine bestimmte Höhe, die sich als labiler Gleichgewichtszustand darstellt.

Wir wollen nun versuchen, diese Zusammenhänge zu deuten. Betrachten wir zunächst die Verhältnisse im Hellen. Als Orientierung für die optimale akkommodative Einstellung des Auges gilt hier wahrscheinlich die Abbildung mit möglichst kleinen Zerstreuungsfiguren auf der Netzhaut, d.h. es wird angstrebt, das engste Bündel der Kaustik auf der Netzhaut abzubilden. Entsteht durch fehlerhafte Akkommodation ein bestimmter Grad von Unschärfe, wird das Auflösungsvermögen durch die grösseren Zerstreuungskreise verschlechtert. Dadurch wird, zentral gesteuert, eine Akkommodationsänderung mit dem Ziel ausgelöst, die Unschärfe sofort wieder zu beseitigen.

Bei entsprechender Versuchsanordnung und Bereitschaft der Versuchsperson besteht im Hellen ebenso wie bei geringen Leuchtdichten die Neigung zur Akkommodation. Das beweisen u.a. die Ergebnisse SCHOBER's sehr deutlich (Abb.1). Da die Toleranz gegen eine unscharfe Abbildung im Hellen jedoch sehr klein ist, womit eine straffe Führung der Akkommodation verbunden ist, kommt es unter natürlichen Bedingungen nicht zu

nennenswerten Fehleinstellungen.

Bietet man im Hellen aber jüngeren Vpn. jeweils in kleinen Stufen stärkere Minusgläser an und begünstigt man die Akkommodation zusätzlich noch etwa mit der Aufforderung, sehr genau hinzusehen o.ä., dann kann man beobachten, wie die Testpersonen 1/4 dptr. um 1/4 dptr. in eine schließlich starke myopische Einstellung durch sich einschleichende Akkommodation geraten. Bietet man das am Ende erreichte Minusglas nach kurzem Entzug dann plötzlich sofort in voller Höhe an, dann wird es nachdrücklich zurückgewiesen.

Im Dunkeln sind die Verhältnisse etwas anders:

Wie wir schon ausführten, ist mit dem Übergang vom fovealen zum extrafovealen Sehen bei abnehmender Leuchtdichte wahrscheinlich eine Änderung der vorherrschenden Sehfunktion verbunden. Beim fovealen Sehen bei höheren Leuchtdichten sind die Netzhautelemente auf höchstes Auflösungsvermögen, d.h. geringste Summation der Einzelerregungen geschaltet. Bei geringen Leuchtdichten, beim extrafovealen Sehen muß in Abhängigkeit von den Leuchtdichteverhältnissen in verschiedenem Ausmaß zum Ausgleich der geringeren LUE stärker summiert werden.

Da bei stärkerer Summation der Einzelerregungen das Auflösungsvermögen entsprechend nachläßt, wird die Toleranz gegen Abbildungsunschärfen im Dunkeln natürlich größer als im Hellen, da diese gar nicht in gleicher Weise erfaßt werden können.

Einen gewissen Eindruck von der Größe der Toleranz gegen Abbildungsunschärfen auf der Netzhaut bei geringen Leuchtdichten geben unsere Versuche zur Nachtmyopiemessung mit Probegläsern (stufenweise veränderliche Refraktion!). In keinem Fall wurden dabei spontan mehr als 2 dptr. Minuskorrektur angenommen. Es scheint so zu sein, das Nachtmyopie, die eine Höhe von - 2,o dptr übersteigt, nur bei Benutzung gleichzeitig korrigierender Systeme auftreten kann.

Orientierende Versuche am Tübinger Perimeter, bei denen wir bei geringen Leuchtdichten an mehreren atropinisierten Vpn. die LUE und das Auflösungsvermögen beim extrafovealen Sehen (6°) als Auftauchschwelle bzw. mittels Unterscheidung von Kreis und Quadrat gemessen haben, nachdem das Netzhautbild durch entsprechenden Linsenvorsatz in unterschiedlichem

Grade unscharf gemacht worden war, bestätigten diese Beobachtung: Bei Unschärfen, die umgerechnet eine Fehlrefraktion von 1 bis 2 dptr. überstiegen, nahm das Auflösungsvermögen stark ab, wobei die LUE relativ unbeeinflußt blieb.

Die größere Toleranz gegen Abbildungsunschärfen bei geringen Leuchtdichten besteht aber nur bedingt, denn eine Besserung des Bildeindruckes wird von den Prüflingen nach Korrektur der Nachtmyopie ja erkannt.

Mit der bei geringen Leuchtdichten relativ großen Toleranz gegen Abbildungsunschärfen auf der Netzhaut hängt eng zusammen, daß die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten beim Übergang zum extrafovealen Sehen offenbar ihre straffe Führung verliert. Das mag daran liegen, daß die Fähigkeit zur Differenzierung verschiedener Grade von Abbildungsunschärfen, die ein relativ hohes Auflösungsvermögen verlangt, bei geringen Leuchtdichten wegen der höheren Summation entsprechend eingeschränkt ist. Möglicherweise fehlt die Steuerung der Akkommodation extrafoveal oder ist zumindest nicht eingefahren.

Die größere Toleranz gegen Abbildungsunschärfen auf der Netzhaut und der Verlust der Fähigkeit, die Akkommodation straff zu führen, scheinen die Voraussetzungen dafür zu sein, daß bei geringen Leuchtdichten eine Akkommodation von maximal 2 dptr. auch ohne Gebrauch gleichzeitig korrigierender optischer Systeme toleriert wird.

In welchem Ausmaß unangepaßte Akkommodation innerhalb dieser Grenzen dann eintritt, ist von der Einwirkung der verschiedensten akkommodationsfördernden Umstände abhängig, wie es im Einzelnen ja schon ausführlich besprochen wurde.

C. Das Problem der Dämmerungs- oder Nachtbrille

Es ist zu vermuten, daß unsere Nachtmyopiemessungen mit Probegläsern Ergebnisse gebracht hat, die der physiologischen Nachtmyopie beim freien Sehen noch mehr als die Ergebnisse, die am Fernrohr gewonnen wurden, vergleichbar sind.

Unsere Versuchsumstände weichen nun insofern von den natürlichen Gegebenheiten ab, als bei uns sämtliche vermeidbaren akkommodationsbegünstigenden Faktoren ausgeschaltet wurden. Das ist aber beim Sehen im Freien nicht immer der Fall. Am deutlichsten wird diese Tatsache, wenn wir unser Testbild mit

den Beobachtungsobjekten im Freien vergleichen. Im Freien sind Kontraste und Leuchtdichten sehr unterschiedlich, die Konturen oft sehr verwaschen und schwer erkennbar. Die sich daraus ergebenden, ständig unregelmäßig wechselnden Reizwerte für das Auge lassen aber nach den Ergebnissen unserer Versuche bei geringen Leuchtdichten ständig wechselnde Akkommodation erwarten, zumal die Notwendigkeit der Orientierung - denken wir nur an die Bedingungen beim Autofahren - immer wieder dazu zwingt, etwas erkennen zu müssen.

Da das Ausmaß der Akkommodation bei den einzelnen Menschen sehr verschieden sein kann, erscheint die generelle Empfehlung einer Nachtbrille sehr problematisch, zumal die Frage, ob mit einer Korrektur eine bessere Sehleistung erreicht werden kann, noch offen ist. Außerdem wird der mehr oder weniger obligate Teil der Nachtmyopie von etwa 0,5 dptr. durch die in vielen Fällen vorhandene latente Hyperopie ausgeglichen. Und schließlich besteht die Möglichkeit, daß die Nachtmyopie nach ihrer Korrektur in den Grenzen von 1 bis 2 dptr. erneut auftritt, da eine entsprechende Akkommodation wahrscheinlich toleriert würde.

Nach unserem jetzigen Wissensstand ist die Verordnung einer Nacht- oder Dämmerungsbrille also nur nach gründlicher Prüfung des Einzelfalles indiziert, bei dem eine Besserung der Sehleistung mit der Korrektur festgestellt werden kann, wobei die Stärke der Minusgläser so gering wie möglich sein sollte.

Die endgültige Klärung des Verhaltens der Akkommodation beim Sehen bei geringen Leuchtdichten im Freien und damit der Frage einer generellen Indikation einer Nacht- oder Dämmerungsbrille wird aber erst mit einem, die Akkommodation ständig registrierenden Akkommodometer möglich sein, dessen Entwicklung zur Zeit an verschiedenen Stellen betrieben wird.

Zusammenfassung

In der Arbeit werden zunächst die Anschauungen über die Nachtmyopie und ihre Ursachen unter Beachtung der dazu vorliegenden Literatur kritisch besprochen. In einem zweiten Teil wird mit eigenen Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten beigetragen.

Erster Teil

1. Die vorliegenden Durchschnittsergebnisse verschiedener Autoren von Messungen der Nachtmyopiehöhe und von Untersuchungen über die Beeinflussung der Lichtsinnesleistungen durch Korrektur der Nachtmyopie sind sehr unterschiedlich.
2. Es wird zwischen dem Teil der Nachtmyopie, der unabhängig von Akkommodation entsteht und dem, der durch Akkommodation bewirkt wird, unterschieden.
3. Die Höhe des unabhängig von Akkommodation entstehenden Teils der Nachtmyopie beträgt im Durchschnitt zwischen o,25 und o,7 dptr, gewöhnlich um o,5 dptr.
4. Als Ursachen des unabhängig von Akkommodation entstehenden Teils der Nachtmyopie werden sphärische Aberration, Änderung des Fixationsortes, Retinomotorik, chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen und Verlagerung des Bildortes innerhalb der meridionalen Kaustik diskutiert.
5. Der durch sphärische Aberration bedingte Teil der Nachtmyopie wird bei den gewöhnlich angewandten Untersuchungsmethoden nicht erfaßt. Der durch chromatische Aberration in Verbindung mit dem Purkinje-Phänomen bewirkte Teil der Nachtmyopie beträgt durchschnittlich etwa o,3 dptr, kann beim Sehen im Freien unter bestimmten Bedingungen aber auch entfallen.
6. Die Gültigkeit der Hypothesen bezüglich der Nachtmyopie von IVANOFF, SCHOBER und KÜHL, wonach die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten aus unterschiedlichen Ursachen konstant 1 bis 2 dptr betragen soll, ist aus verschiedenen, im einzelnen dargelegten Gründen nicht sehr wahrscheinlich.

Zweiter Teil

1. Bei insgesamt 133 Versuchspersonen wurde die Höhe der Nachtmyopie im photopischen, mesopischen und skotopischen Leuchtdichtebereich am Fernrohr und mit Probegläsern mit einer Methode bestimmt, bei der alle Umstände, die geeignet erschienen, unphysiologische Akkommodation zu provozieren, vermieden wurden.
2. Eine Reihe von Eigenschaften der Nachtmyopie, die schon aus Untersuchungen anderer Autoren bekannt waren, wurden bestätigt.
3. Die Nachtmyopie-Leuchtdichtekurve verläuft nicht linear. Bei Abnahme der Leuchtdichte von o,1 asb auf o,o1 asb zeigt sowohl der Teil der Nachtmyopie, der unabhängig von Akkommodation entsteht, wie auch der Teil, der durch Akkommodation bewirkt wird, eine sprunghafte Zunahme.
4. Es erweist sich, daß die Höhe der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten variabel und wesentlich durch die Untersuchungsmethode bestimmt ist.
5. Die Akkommodation bei geringen Leuchtdichten ist nicht einfach als Such- oder Zufallseinstellung bei Verlust ihrer festen Führung zu betrachten.
6. Die akkommodative Einstellung des Auges der Einzelperson erreicht bei geringen Leuchtdichten in Abhängigkeit von dieser und von der Gesamtheit aller akkommodationsbegünstigenden Faktoren mit gewisser Konstanz spontan eine bestimmte Höhe, die sich als labiler Gleichgewichtszustand darstellt.
7. Die relativ große Toleranz gegen Abbildungsunschärfen auf der Netzhaut und der Verlust der Fähigkeit, die Akkommodation straff zu führen, scheinen bei geringen Leuchtdichten die Voraussetzungen dafür zu sein, daß eine Akkommodation von maximal 2 dptr auch ohne Gebrauch gleichzeitig korrigierender optischer Systeme toleriert wird.
8. Die endgültige Klärung des Verhaltens der Akkommodation bei geringen Leuchtdichten beim freien Sehen und damit der Frage einer generellen Indikation einer besonderen Nacht- oder Dämmerungsbrille wird erst mit einem, die Akkommodation ständig registrierenden Akkommodometer möglich sein.

Literaturverzeichnis

Alpern,M. and David,H. - Effects of illuminance quantity on accommodation of the eyes. Ind.Med.Surg.27,551-555 (1958)

Ames,A. and Proctor,C.A. - Dioptrics of the eye. Journ.Opt.Soc.America 5,22-84 (1921) Zit.n.Schober (1957/

Andreani,D.C.e Volpi,U. - Beitrag zur Kenntnis der Nacht-presbyopie. Ann.Ottal. 87,829-834 (1961)

Aulhorn,E.,Harms,H. und Raabe,M. - Die Lichtunterschiedsempfindlichkeit als Funktion der Umfeldleuchtdichte. Doc.Ophthal.2o,537-556 (1966)

v.Bahr,G. - Über den Versuch,die Lichtverteilung des Retinabildchens eines punktförmigen Reizlichtes für die sphärische Aberration im Auge zu berechnen. Acta ophthalm.(Kopenh.) 25,4o5 (1947)

Biessels,W.J. - En explanation of twilight myopia . Brit.J.Physiol.(Optics) N.S. 11, 176 - 18o (1954)

Bouman,M.A. and Brink,G. - On night myopia Ophthalmologica (Basel) 123,1oo-113 (1952)

Campbell,F.W. and Primrose,J.A.E. - The state of accommodation of the human eye in darkness. Trans. Ophth.Soc.U.Kingd 73,353-361 (1953)

Carreras Matas,M. - Die Nachtmyopie und ihre Beeinflussung durch die Akkommodationsbreite. Arch.Soc.Oftalm.hisp.amer. 11, 1443-1489 (1951)

Chin,N.B. and Horn,R.E. - Infrared skiascopic measurements of refractive changes in dim illumination and in darkness. J.Opt.Soc.America,46,6o-66 (1956)

Cogan,D.G. - Titel unbekannt. Arch.of Ophthalm.18,739 (1937)

Davson,H. - Physiology of the Eye. Churchill,Ltd.London 1949 Zit.n.Schober 1957/58

Doesschate,T. - Das Sehen im freien Raum. Aeromed.Acta,6,9-68 (1958)

- Das Sehen im leeren Gesichtsfeld. Ophthalmologica (Basel) 140, 323-332 (1960)

Duran,A. - Titel unbekannt. Anales Fis.Y Quim. 39,579-593 (1943).Zit.n.Schober,H.(1958)

Elul,R. and Marchiafava,P.L. - Accommodation of the Eye as related to behavior in the cat. Arch.ital.Biol. 102,616-644 (1964)

Engelbrecht,K. - Die Dämmerungsmyopie der Hypermetropen. Klin.Mbl.Augenhk.114,543-548 (1949)

Enoch,J.M. - Receptor amblyopia. Americ.J.ophthalm.Ser.3 48,262-274 (1959)

Fincham,E.F. - Der Mechanismus der Akkommodation. London,1937.Zit.n.Mütze (1956)

Fleming,D.G. and Hall,J.L. - Autonomic innervation of the ciliary body.A modified theory of accommodation. Amer.J.Ophth.Ser.3 48,part II, 287-293 (1959)

Le Grand,Y. - Sur la mise au point de L`oeil en vision nocturne. C.r.Acad.Sci.Paris 214,658-686 (1942)
- Sur l`existence chez certains sujets d`une accommodation negative. C.v. 230,1422-1424 (1951)
- Optique Physiologique,2.Aufl.Paris: Revue d`optique,Bd. 1 - 3 (1956-65)
- Problèmes visuels relativs a la conduite des vehicules. Ann.Oculist. (Paris) 195, 160-165 (1962

Geiger,H. und Scheel.K. - Handbuch der Physik Bd.18,562 Berlin,Springer 1927

Gullstrand,H. - Die Constitution des im Auge gebrochenen Strahlenbündels. v.Graefes Arch. 53,185-240 (1901-02)
- Die Dioptrik des Auges.In v.Helmholtz,H Handbuch d.physiol.Optik,3.Aufl., Leopold Voss,Leipzig 1909.

Hamburger,A. - Das Sehen in der Dämmerung - Physiologie und Klinik. Wien,Springer 1949

Harms,H. und Aulhorn,E. - Studien über den Grenzkontrast I.Mitt.Ein neues Grenzphänomen. v.Graeves Arch. 157,3-23 (1955)

Hartinger,H. - Verordnung von schwachen Konkavgläsern bei Normalsichtigen als Sehhilfe im Dunkeln. Klin.Mbl.Augenhk. 109,704 (1943)

v.Helmholtz,H. - Handbuch der physiologischen Optik. 3.Aufl.Hamburg u.Leipzig:1909

Hermann,R. - Zit.n.Mütze,K. ABC der Optik,343 Hanau:W.Dangien (1961)

Höhn,D.H. und Maffeo,G.F. - Spektrale Strahldichte des klaren und des bedeckten Nachthimmels im Wellenlängenbereich von 0,5 - 1,1 um. Forschungsbericht Astronomisches Inst. Tübingen 1967

Ivanoff,A. - Influence de l'Accommodation sur l'Aberration Spherique de l'oeil. C.R.Accad.Sci. 223,1027 (1946)

- Les abérrations de chromatisme et de sphéricitè de l'oeil. Rev.d'Opt. 26, 145-171 (1947)

- Les aberration de L'oeil.Leur rôle dans l'accommodation. Revue d'Optique,Paris 1954

Jenkins,T.C.A. - Aberrationen des Auges und ihre Wirkung auf die Sehfunktionen. Brit.J.physiol.Opt.N.S. 20,I 59-91 (1963),II,161-201 (1963)

Katz,J. - Zur Frage der Dämmerungs- und Na chtmyopie. Klin.Mbl.Augenhk.111,219-223 (1947)

- Ergänzende Betrachtungen-zur Dämmerungsmyopie. Klin.Mbl.Augenhk.113 ,170-172 (1947)

- Untersuchungen über die zweckmäßige Okulareinstellung an Ferngläsern und Periskopen. Klin.Mbl.Augenhk. 114,71 ff. (1949)

- Berechnung der Dämmerungsmyopie. Optik,6, 98-104 (1950)

Koomen,M.,Scolnik,R. and Tousey,R. - A study of night myopia. J.opt.soc.America 41, 80 (1951)

Koomen,M.,Skolnik,R. und Tousey,R. - Measurement of accommodation in dim light and in darkness by means of the purkinje images. J.Opt.Soc.America 43,27-31 (1953)

Krause,R.und Krause-Liebscher,J. - Zur Erklärung des Phänomens der Nachtmyopie. Klin.Mbl.Augenhk.139,338-344 (1961)

Kühl,A. - Zur Erklärung der Änderung der Sehschärfe mit der Beleuchtung und des absoluten Sehschärfemaximums. Z.ophth.Opt.28,33 (1941)

- Unveröffentlichter Bericht an das Deutsche Oberkommando der Wehrmacht: "Über die Ursachen der Nachtmyopie". vom 22.12.1944,zit.n.Schober,H. (1947)

- Die Akkommodationsruhe und ihr Einfluß auf das Nachtsehen ohne und mit Fernrohr. Festschr.z.25 jähr.Bestehen d.Oscar v. Miller Polytechnikums Akd.f.angew.Techn.München 1949

Lapique,Ch. - Les images retiniennes et leurs deformation. Ber.ü.d.2.Vers.d.Inst.d`opt.Paris 1936 Zit.n.Schober,H.1957/58

Lau,E.,Mütze,K. und Weber,G. - Die chromatische Aberration des menschlichen Auges. v.Graeves Arch.und Arch.Augenhk.157, 92-1oo (1957)

Löhle,F. - Über die spektrale Zusammensetzung des Nachthimmelslichtes. Ztg.f.angw.Meteorol.58,2o2 (1941)

Marquez,M. - Eine neue Erklärung des Mechanismus` der Nachtmyopie. 4.Congr.panamer.Oftalm.2,1o2o-1o24 (1952)

Mattäus,W. - Nachtmyopie und Straßenverkehr. Dtsch.Gesundheitsw. 2o,92o-924 (1965)

Meesmann,A. - Über den Einfluß der Sympathicolytica auf die Akkommodation. v.Graeves Arch. 152 ,188 (1952) 157 ,33o (1955)

Mercier,H. - Die Raummyopie Bull.mem.soc.franc.Ophthal. 73,1oo-1o6 (196o)

Monjè,M. - Über pharmakodynamische und klinische Untersuchungen der Akkommodation. A.v.Graeves Arch. 152, 357-378 (1952)

Morgan,M. - The role of the sympathetic nervous system in ocular accommodation. Brit.J.Physiol.Optics N.S. 15,154-165 (1958)

Müller-Ree,O. - Undersøgelser of Øgetmed et lysende. Kopenhagen 1896,zit.n.Schober,H.1957/58

Mütze,K. - Die Akkommodation des menschlichen Auges.Berlin:Akademieverlag 1956
- ABC der Optik Hanau:W.Dansien 1961

Murata,H. - Studies on night myopia I.Refractive changes in dim illumination. Acta soc.ophthal,jap. 62,1888-1892(1958)

- Studies on night myopia II.Refactive changes in dim illumination. Acta soc.ophthal.jap. 63,166o-1673(1959)

- Studies on night myopia.Refractive changes in dim illumination. Jap.J.Ophthal. 4,22-31 (196o)

- Der Akkommodationszustand und die Änderungen der Hornhautkrümmung im Dämmerlicht. Acta.soc.Ophthal.jap. 66,34-45 (1962)

Ogata,D. and Weymouth,F.W. - Refractive differences in foveal and parafoveal vision. Amer.J.Ophthal. 1,63o (1918)

Olmstedt,L. and Morgan,M. - Quantitative measurements of relative accommodation and relative convergence. Proc.soc.Exper.Biol.& Med. 41,3o3-3o7 (1939)

Otero,J.M. - El Effecto Stiles-Crawford y la Miopia nocturna como factores determinantes del incumplimento de la ley fotometrica de L-Kr? Anales Fis.Y.Quim. 39,555 (1943) 39,567 (1943)

- Astigmatismo nocturno - Nota II. An Real.Soc.esp. Fis.Y Quim.Ser.A,47, 295-296 (1951)
- NotaIII 297-3o2 (1951)

- Miopia y convergencia binocular noct. An.soc.esp.Fis.Y Quim.Ser.A 54,139-142 (1958)

Otero,J.M. y Duran,A. - Untersuchungen über die Akkommodationsruhe und Myopie bei herabgesetzter Beleuchtung. Anales Fis.Y Quim. 36,37 ,459 (1941)

Otero,J.M. y Aguila,M. - La accommodation en la miopia nocturna. Anales Soc.esp.Fis.Y Quim.A 49,127-129 (1953)

Otero,J.M.,Aguilar,M. y Sauras,E. - Miopia y convergencia binocular nocturna. Anales Soc.esp.Fis.Y Quim. A 54, 139-142 (1958)

Otsuka,J.,Tokoro,T. und Kabe,S. - Infrarotphakometer,Veränderungen der Refraktionselemente und der Refraktionszustand in vollständiger Dunkelheit. Acta Soc.ophthal.jap. 69,97o-986 (1965)

Palacios,J. - De la miopia y de la presbicia nocturnas. Investig.y progresso, 14,257-267 (1943) Krz.Ber.Klin.Mbl.Augenhk.111,64 (1946)

Pi,H.T. - The total peripheral aberration of the eye. Transv.Ophthalm.Soc.Un.Kingd. 45, 393-399 (1925)

Piper,H. - Über Dunkeladaptation. Ztschr.f.Sinnesphysiol. 31,151-211 (19o3)

Pütter,A. - Organologie der Augen. Leipzig:Engelmann 1912

Polack,A. - Le chromatisme de L`oeil.Paris:1963 Soc.d`Ophthalm. Zit.n.Schober,H.1957/58

Rössler,F. - Die Refraktionsbestimmung des Auges mit Hilfe der Kobaltlampe. Klin.Mbl.Augenhk. 84,13-38 (193o)

- Das Auge als Subjekt.Das Wahrnehmungsbild und seine Prüfung. Wien: W.Maudrich 1947

- Über die akkommodative Einstellung des Auges und den Einfluß des Nervensystems.Wien:Klin.Woschft.1948,537

- Über die akkommodative Einstellung des Auges und ihre Abhängigkeit vom Zustand des Nervensystems. v.Graefes Arch. 15o,75-9o (195o)

Rohen,J. - Primatologia II,Teil 1 Basel: Sikarger,1962

Ronchi,V. - Le cause della Miopia Nocturna. Ottica 8,II 153 (1943)

Sachsenweger,R. - Der Augenarzt , Bd 2, Stuttgart: Thieme 1959

Schober,H. - Die Nachtmyopie und ihre Ursachen. v.Graefes Arch. 148, 171-186 (1947)

- Die Ursachen asthenopischer Beschwerden bei Beleuchtung durch Leuchtstofflampen. Klin.Mbl.Augenhk. 123,462-474 (1953)

- Das Sehen. Leipzig:Fachbuchverlag 1957/58

- Die Bedeutung der Nachtmyopie für die augenärztliche Praxis. A.dtsch.Ophth.Ges. 36-43 (1958)

- Die Brille des Verkehrsteilnehmers. 64.Zskft.d.Dtsch.Ophthal.Ges.Heidelbg. 24. - 28.9.1961

Schoech,G.D. - Die Beziehung zwischen Sehschärfe, Pupillenweite und Testfeldgröße. Diss.Tübingen 1968

Siebeck,R. - Optik des menschlichen Auges.Berlin, Göttg.,Heidelbg.:Springer 1960

- Die antagonistische Innervation der Akkommodation und die Akkommodationsruhelage. v.Graefes Arch. 153,438 (1952)

Siedentopf,H. und Holl,H. - Der Helligkeitsabfall und die Farbänderung in der Dämmerung bis zur Sonnenhöhe -18°. Reichsberichte Physik, 32-40 (1944)

Suzuki,J. - Beziehung zwischen Beleuchtung und Ermüdung des Auges.Der Einfluß der Beleuchtungsstärke auf Refraktionsfehler. Acta soc.ophthal.jap. 64,587-604(1960)

Trendelenburg,W. - Der Gesichtssinn.Berlin:Springer 1961

Tscherning,M. - Optique physiologique.Paris 1908

v.d.Velden,H. - Titel fehlt. Ophthalmologica 111,321 (1946)

Weaver,K.S. - The visibility of radiation at low intensities. Journ.Opt.Soc.Amer. 27, 36-43 (1937) Zit.n.Schober,H. 1957/58

Wald,G. and Griffin,D.R. - The change in refractive power of the human eye in dim and bright light. J.Opt.Soc.Amer. 37,321 (1947)

Wempe,I. - Titel fehlt. Ztschrft.f.Instrumentenkunde 64, 71-85 (1944)

Whiteside,Th.C.D. - The problems of vision in flight et high altitudes. Buttowarth`s scient.publ.London 1957 Zit.n.Trendelenburg,W. (1961)

Whitewell,A. - The special aberration of Gullstrand`s shematic eye. Optician 67,136-137 (1924)

Wibaut,F. - Titel fehlt. v.Graefes Arch. 116,596 (1926)

Wolter,R. - Titel fehlt. Heidelbg. Ber. 58,327 (1953)

Meiner verehrten Lehrerin, Frau Professor Dr. Elfriede Aulhorn, danke ich für die gründliche Anleitung zu dieser Arbeit, für ihre stets freundliche Hilfsbereitschaft und Aufgeschlossenheit.

Dank schulde ich auch allen Versuchspersonen, die sich für die Experimente zur Verfügung stellten, sowie der Werkstatt der Augenklinik für die Mitarbeit bei der Fertigung der Versuchsapparatur.

Lebenslauf

Am 23.5.1939 wurde ich, Frieder Johannes Ehrke, als viertes von fünf Kindern des Pfarrers Gerhard Ehrke und seiner Frau Edith Ehrke, geb. Lücke, in Salzwedel/Altmark geboren.

Nach dem Besuch der Volksschule von 1945 bis 1953, sowie der Jahn-Oberschule in Salzwedel von 1953 bis 1957 bestand ich im Juni 1957 die Reifeprüfung und im März 1958 in Tübingen die Ergänzungsprüfung zur Reifeprüfung.

Im Sommersemester 1958 begann ich an der Universität Tübingen zunächst ein Semester Mathematik zu studieren und wechselte dann zum Medizinstudium, das ich ebenfalls in Tübingen im Sommer 1965 mit dem Staatsexamen abschloß.

Die Medizinalassistentenzeit leistete ich an der Universitäts-Augenklinik in Tübingen, am Kreiskrankenhaus Tuttlingen und Trossingen ab und erhielt am 31.7.1967 die Bestallung zum Arzt.

Den einjährigen Grundwehrdienst beendete ich im September 1968 als Stabsarzt d.R. .

Nach kurzer Tätigkeit an der Universitäts-Augenklinik in Tübingen trat ich am 1.Januar 1969 in das Medizinische Strahleninstitut Tübingen ein.

Druck: Polyfoto Dr. Vogt KG
Stuttgart 1, Königstraße 19 a
Telefon 291063

Druck: Polyfoto Dr. Vogt KG
Stuttgart 1, Königstraße 19 a
Telefon 291063